



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - TE 141599

**ANALISIS GELOMBANG ARUS STATOR UNTUK
MEMBEDAKAN KERUSAKAN AKIBAT HUBUNG SINGKAT
DAN SUMBER TEGANGAN TAK SEIMBANG PADA MOTOR
INDUKSI TIGA FASA**

Fitri Ariyani
NRP 2212106026

Dosen Pembimbing
Dimas Anton Asfani S.T., M.T., Ph.D.
Ir. R. Wahyudi

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2015



FINAL PROJECT - TE 141599

**THREE PHASE INDUCTION MOTOR CURRENT ANALYSIS
FOR IDENTIFY STATOR WINDING FAULTS
FROM SHORT CIRCUIT AND SUPPLY VOLTAGE
UNBALANCE**

Fitri Ariyani
NRP 2212106026

Advisor
Dimas Anton Asfani S.T., M.T., Ph.D.
Ir. R. Wahyudi

DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING
Faculty Of Industry Technology
Sepuluh Nopember Institute Of Technology
Surabaya 2015

**ANALISIS GELOMBANG ARUS STATOR UNTUK
MEMBEDAKAN KERUSAKAN AKIBAT HUBUNG SINGKAT
DAN TEGANGAN SUMBER TAK SEIMBANG
PADA MOTOR INDUKSI TIGA FASA**

TUGAS AKHIR

**Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada
Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga
Jurusan Teknik Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

Menyetujui:

Dosen Pembimbing I,

Dosen Pembimbing II,

Dimas Anton Asfani S.T., M.T., Ph.D
NIP. 198109052005011002

Ir. R. Wahyudi
NIP. 195102021976031003

**SURABAYA
JUNI, 2015**

ANALISIS GELOMBANG ARUS STATOR UNTUK MEMBEDAKAN KERUSAKAN AKIBAT HUBUNG SINGKAT DAN TEGANGAN SUMBER TAK SEIMBANG PADA MOTOR INDUKSI TIGA FASA

Nama : Fitri Ariyani
Pembimbing I : Dimas Anton Asfani S.T., M.T., Ph.D.
Pembimbing II : Ir. R. Wahyudi

ABSTRAK

Motor induksi merupakan mesin listrik yang banyak digunakan pada proses industri. Adanya kerusakan awal pada motor induksi terutama pada belitan stator jika tidak segera dideteksi dapat menimbulkan kerusakan yang lebih parah sehingga motor harus shut down dari proses produksi karena proses perbaikan yang lama.

Pada tugas akhir ini, kerusakan stator yang akan dideteksi adalah hubung singkat pada turn belitan dan suplai tegangan sumber yang tak seimbang. Data arus stator dimonitor secara online dan diubah menjadi sinyal PVM (Park's Vector Modulus). Sinyal PVM kemudian diolah menggunakan Discrete Wavelet Transform (DWT). Analisis hasil transformasi wavelet digunakan Power Detail Density (PDD) yang digunakan untuk mendeteksi gangguan stator yang terjadi. Hasil pengujian membuktikan bahwa deteksi menggunakan nilai PDD dari transformasi wavelet mampu mendeteksi perbedaan kondisi saat motor beroperasi normal, mendapat suplai tegangan tak seimbang, dan saat terjadi hubung singkat pada belitan. Hubung singkat belitan dapat dideteksi dari nilai PDD level D1,D2 dan D3 sedangkan kondisi sumber tegangan tak seimbang dideteksi dari nilai PDD level D6, D7 dan D8.

Kata Kunci : Motor induksi,Kerusakan Stator, Hubung Singkat Belitan, *Unbalance*, Transformasi Wavelet

Halaman ini sengaja dikosongkan

***THREE PHASE INDUCTION MOTOR CURRENT ANALYSIS FOR
IDENTIFY STATOR WINDING FAULTS FROM SHORT CIRCUIT
AND SUPPLY VOLTAGE UNBALANCE***

Name : Fitri Ariyani
Advisor I : Dimas Anton Asfani S.T., M.T., Ph.D.
Advisor II : Ir. R. Wahyudi

ABSTRACT

Induction motor is the most widely used electrical machines in industries. Stator windings faults, if not immediately detected will cause further damage, then motor must be shut down of the production process due to the long maintenance. .

In this final project, there are two stator faults that can be detected, Short circuit in the turn winding and the supply voltage unbalance. Stator current is online monitored and then it converted into a signal PVM (Park's Vector Modulus). Next, PVM signal is processed using the Discrete Wavelet Transform (DWT). Analysis of the results from wavelet transform used Details Power Density (PDD) which is used to detect the stator winding faults. The results prove that the PDD value of detection using wavelet transform is able to detect differences in the conditions when the motor is operating normally, have unbalanced supply voltage, and when there is a short circuit in the windings. Short circuit in the winding can be detected by PDD values at level D1,D2 and D3 while voltage unbalance detected by PDD values at level D6,D7 and D8.

Keywords : *Induction motor, Stator Damages, Short Circuit Faults, Unbalance, Wavelet Transform*

Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah semoga terlimpahkan kehadiran Allah SWT, atas rahmat, taufik dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul **Analisis Gelombang Arus Stator untuk Membedakan Kerusakan Akibat Hubung Singkat dan Tegangan Sumber Tak Seimbang pada Motor Induksi Tiga Fasa**. Penyusunan Tugas Akhir ini disusun sebagai salah satu persyaratan dalam menyelesaikan studi pada bidang studi Teknik Sistem Tenaga, Jurusan Teknik Elektro pada Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Dalam kesempatan ini penulis ingin mengucapkan banyak terima kasih kepada :

1. Segenap keluarga, terutama Bapak dan Ibu tercinta serta kakak dan adik penulis yang selalu memberikan dukungan, semangat, dan doa sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dan studi sarjana di Institut Teknologi sepuluh Nopember.
2. Bapak Dimas Anton Asfani S.T., M.T., Ph.D. sebagai Dosen Pembimbing I penulis yang telah memberikan pengetahuan, arahan, dan bantuan yang tidak ternilai dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. Bapak Ir. R. Wahyudi. sebagai dosen pembimbing II penulis, yang telah membimbing penulis agar dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan baik.
4. Seluruh rekan LJE'12 genap serta teman-teman seperjuangan dan teman-teman yang lainnya. Terima kasih atas bantuannya dalam bentuk apapun.
5. Terima kasih seluruh keluarga besar Teknik Elektro ITS Surabaya, para dosen, karyawan, mahasiswa, semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu namanya.

Besar harapan penulis agar Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat dan masukan bagi semua pihak.

Surabaya, Juni 2015

Penulis

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	
PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	
HALAMAN PENGESAHAN	
ABSTRAK	i
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	xi
 BAB I PENDAHULUAN	 1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	1
1.3 Tujuan Tugas Akhir	2
1.4 Batasan Tugas Akhir	2
1.5 Metodologi Tugas Akhir.....	2
1.6 Sistematika Laporan	3
 BAB II DETEKSI GANGGUAN STATOR MOTOR INDUKSI	 5
2.1 Motor Induksi Tiga Fasa	5
2.2 Hubung Singkat Lilitan Stator	8
2.3 Tegangan Sumber Tak Seimbang (Voltage Unbalanced)	9
2.4 Transformasi Park	11
2.5 Fast Fourier Transform (FFT)	12
2.6 Transformasi Wavelet	13
2.7 Power Detail Density	16
 BAB III PERANCANGAN SISTEM	 17
3.1 Desain Sistem.....	17
3.2 Pengambilan Data	19
3.3 Transformasi Park dan Transformasi Fourier.....	23
3.4 Discrete Wavelet Transform	17
 BAB IV ANALISA DATA.....	 25

4.1 Hasil Pengambilan Data Arus Stator.....	25
4.2 Transformasi Park	28
4.3 Transformasi Wavelet	28
4.4 Power Detail Density	34
BAB V PENUTUP	47
5.1 Kesimpulan	47
5.2 Saran	47
DAFTAR PUSTAKA	49
RIWAYAT PENULIS	51
LAMPIRAN	53

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 3.1 Data Motor Induksi Tiga Fasa.....	18
Tabel 3.2 <i>Name plate</i> Probe Arus	20
Tabel 3.3 Variasi Pembebanan.....	21
Tabel 3.4 Data Percobaan Motor Induksi.....	22
Tabel 4.1 Data Arus Saat Motor Beroperasi Normal	25
Tabel 4.2 Data Arus <i>Unbalance</i> Beban 0.....	26
Tabel 4.3 Data Arus <i>Unbalance</i> Beban 100%.....	26
Tabel 4.4 Data Arus Hubung Singkat Beban 0	27
Tabel 4.5 Data Arus Hubung Singkat Beban 100%	27
Tabel 4.6 <i>Range</i> Frekuensi <i>Bands</i>	29
Tabel 4.7 PDD <i>Unbalance</i> Kondisi 1.....	35
Tabel 4.8 PDD <i>Unbalance</i> Kondisi 2.....	36
Tabel 4.9 PDD <i>Unbalance</i> Kondisi 3.....	37
Tabel 4.10 PDD <i>Unbalance</i> Kondisi 4.....	38
Tabel 4.11 PDD Hubung Singkat Fasa ke Netral.....	39
Tabel 4.12 PDD Hubung Singkat Fasa ke Fasa	40
Tabel 4.13 Data <i>Unbalance</i> yang Berhasil Dideteksi.....	44
Tabel 4.14 Data Hubung Singkat yang Berhasil Dideteksi	44
Tabel 4.15 Persentase Keberhasilan Berdasarkan Level Beban	45
Tabel 4.16 Persentase Keberhasilan Metode.....	45

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Konstruksi Stator	6
Gambar 2.2 Arus Tiga Fasa Seimbang	6
Gambar 2.3 Konstruksi Rotor	7
Gambar 2.4 Rangkaian Ekuivalen Motor Induksi	7
Gambar 2.5 Konfigurasi Hubung Singkat (<i>turn-turn fault</i>).....	9
Gambar 2.6 Konfigurasi Hubung Singkat Antar Fasa.....	9
Gambar 2.7 <i>Fast Fourier Transform</i>	11
Gambar 2.9 <i>Wavelet Tree</i> dengan Tiga Level Dekomposisi	14
Gambar 2.10 Klasifikasi dalam <i>Wavelet</i> Tiga Level Dekomposisi..	15
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian	17
Gambar 3.2 Rangkain Belitan Wye dan Letak Hubung Singkat	19
Gambar 3.3 Skema Pengambilan Data.....	19
Gambar 3.4 Proses pengambilan data	20
Gambar 3.5 Modul PXIe-5112 dan <i>Software</i> LabView	23
Gambar 4.1 Sinyal PVM Arus Stator	28
Gambar 4.2 <i>Wavelet Tree</i> dengan 8 Level Dekomposisi.....	29
Gambar 4.3 Hasil Transformasi <i>Wavelet</i> Kondisi Normal	30
Gambar 4.4 Hasil Transformasi <i>Wavelet</i> Kondisi <i>Unbalance</i>	30
Gambar 4.5 Hasil Transformasi <i>Wavelet</i> Kondisi Hubung Singkat ..	31
Gambar 4.6 Deteksi Frekuensi Rendah Kondisi Normal dan <i>Unbalance</i>	32
Gambar 4.7 Deteksi Frekuensi Tinggi Kondisi Normal dan <i>Unbalance</i>	32
Gambar 4.8 Deteksi Frekuensi Rendah Kondisi Normal dan Hubung Singkat	33
Gambar 4.9 Deteksi Frekuensi Tinggi Kondisi Normal dan Hubung Singkat.....	33
Gambar 4.10 Perbandingan Nilai PDD Normal dan <i>Unbalance</i> Kondisi 1 Beban 20%	42
Gambar 4.11 Perbandingan Nilai PDD Normal dan <i>Unbalance</i> Kondisi 1 Beban 20%	42
Gambar 4.12 Perbandingan Nilai PDD Normal dan Hubung Singkat Fasa ke Fasa Beban 20%	43

Gambar 4.13 Perbandingan Nilai PDD Normal dan Hubung Singkat
Fasa ke Fasa Beban 100% 43

BAB 1

PENDAHULUAN

Bab ini berisi tentang penjelasan latar belakang, permasalahan, batasan masalah, tujuan, metode penelitian, sistematika penulisan, dan relevansi dari penelitian yang dilakukan untuk Tugas Akhir ini.

1.1 Latar Belakang

Motor induksi merupakan peralatan penting dalam dunia industri. Kerusakan motor induksi jika tidak segera dideteksi dapat menimbulkan kerusakan yang lebih parah sehingga mengakibatkan motor harus *shutdown* dari proses produksi yang tentunya menyebabkan hilangnya waktu produksi akibat proses perbaikan yang lama. Kerusakan paling umum disebabkan adalah gangguan pada stator, gangguan pada bearing, dan gangguan pada rotor [2]. Gangguan pada stator terjadi karena adanya hubung singkat pada belitan. Oleh karena itu deteksi dini hubung singkat pada belitan saat motor beroperasi akan mencegah kerusakan berikutnya pada lilitan yang saling berdekatan [2].

Pada penelitian ini akan dikaji mengenai analisis perbedaan gangguan pada stator yang disebabkan oleh hubung singkat lilitan dan tegangan sumber tak seimbang, dikarenakan keduanya menghasilkan gelombang arus yang mirip, sehingga perlu dilakukan analisa lebih lanjut untuk mengidentifikasi gangguan agar motor induksi mendapat tindakan perbaikan yang tepat. Percobaan dilakukan pada dua kondisi motor yaitu pada motor induksi yang dimodifikasi belitan statornya untuk menciptakan kondisi hubung singkat dan motor induksi yang diberi sumber tegangan tidak seimbang.

Motor induksi tiga fasa tidak mempunyai kawat netral, oleh karena itu arus yang mengalir tidak memiliki arus urutan nol. Sehingga perlu dilakukan representasi secara dua dimensi untuk menggambarkan performa motor induksi tiga fasa yaitu menggunakan Transformasi Park yang telah berhasil digunakan untuk mendeteksi kerusakan rotor, kerusakan isolasi stator, dan suplai tegangan tak seimbang [1]. Sinyal hasil transformasi Park selanjutnya digunakan sebagai input sinyal transformasi *wavelet* sehingga akan diketahui perbedaan kedua gangguan melalui perhitungan *Power Detail Density* pada setiap level dekomposisi waveletnya. Pada Tugas Akhir ini jenis wavelet yang digunakan adalah *Wavelet* Daubechies 2 dengan 8 level dekomposisi.

Pemilihan *wavelet* Daubechies 2 karena jenis *wavelet* ini memiliki frekuensi resolusi yang baik [1].

1.2 Permasalahan

Permasalahan yang akan dibahas pada tugas akhir ini :

1. Bagaimana memonitor gelombang arus stator tiga fasa dan mengolahnya agar dapat direpresentasikan sebagai sinyal masukan transformasi *wavelet*
2. Mengolah hasil transformasi *wavelet* dengan *Power Detail Density* untuk mengetahui perbedaan kerusakan stator karena hubung singkat antar lilitan dan tegangan suplai tak seimbang.

1.3 Batasan Masalah

Untuk menyelesaikan masalah dalam tugas akhir ini, maka perlu diberi batasan-batasan sebagai berikut :

1. Motor yang digunakan adalah motor induksi tiga fasa rotor sangkar hubung bintang.
2. Pengambilan data dilakukan saat motor dalam kondisi *steady state*
3. Tegangan tak seimbang yang dimaksud pada pengujian ini adalah menambah dan menurunkan nilai tegangan suplai sebesar 10% dari rating tegangan motor induksi tiga fasa tersebut.

1.4 Tujuan

Tujuan yang ingin dicapai melalui penelitian pada Tugas Akhir ini adalah untuk mengetahui perbedaan kerusakan motor yang disebabkan oleh gangguan belitan *inter-turn* (gangguan *internal*) maupun tegangan suplai tak seimbang (gangguan *eksternal*). Sehingga dari hasil pengujian ini dapat dijadikan referensi untuk mendeteksi adanya gangguan stator pada motor induksi.

1.5 Metodologi

Metode yang digunakan dalam penelitian ini dibagi menjadi tiga yaitu tahap perancangan sistem, pengujian sistem dan tahap analisis. Adapun penjelasan tentang ketiga sistem tersebut adalah sebagai berikut

1.5.1. Tahap Perancangan Sistem

Tahap perancangan sistem dilakukan dengan melibatkan eksperimen pada motor induksi yaitu pengkondisian tingkat kerusakan. Adapun langkah-langkah pada tahap pengambilan data antara lain:

a) Pengkondisian Kerusakan pada Belitan Stator Motor Induksi

Dilakukan untuk mengkondisikan motor induksi mengalami gangguan karena hubung singkat antar turn fasa ke netral dan fasa ke fasa pada belitan motor induksi dan pengkondisian suplai tegangan tak seimbang.

b) Perancangan Pengambilan data

Dilakukan dengan *modul* National Instruments PXI 5122 dengan *software* Labview.

1.5.2. Tahap Pengujian Sistem

Dalam tahap ini sistem yang telah dibuat dilakukan pengujian untuk mendapatkan hasil dari sistem yang telah dibuat.

1.5.2. Tahap Analisis

Tahap analisis dilakukan menggunakan software Matlab untuk mengetahui hasil dari pengujian dan mengidentifikasi gangguan yang terjadi dengan menggunakan *Discrete Wavelet Transform*

1.6 Sistematika Penulisan

Dalam penulisan buku Tugas Akhir ini sistematika penulisan yang digunakan adalah sebagai berikut :

BAB 1 Pendahuluan

Bab ini berisi tentang latar belakang, masalah, tujuan, dan metodologi penelitian, serta sistematika penulisan laporan Tugas Akhir.

BAB 2 Dasar teori

Bab ini berisi teori-teori yang berhubungan dengan metode deteksi gangguan stator motor induksi pada pengujian ini.

BAB 3 Perancangan Sistem

Bab ini berisi tentang rancangan langkah-langkah pengambilan data arus stator hingga proses pengolahan data untuk dianalisis.

BAB 4 Analisis Data

Bab ini berisi tentang analisis nilai Power Detail Density dari hasil Transformasi *Wavelet* untuk mengidentifikasi gangguan yang terjadi.

BAB 5 Penutup

Bab ini berisi tentang kesimpulan dan saran mengenai hasil penulisan laporan Tugas Akhir yang telah diselesaikan.

BAB II

DETEKSI GANGGUAN STATOR MOTOR INDUKSI

2.1 Motor Induksi Tiga Fasa

Motor induksi merupakan peralatan utama yang digunakan pada dunia industri. Umumnya yang digunakan di industri adalah tipe rotor sangkar. Secara umum konstruksi motor AC terdiri dari dua bagian, yaitu bagian stator dan bagian rotor. Rotor adalah bagian yang berputar, sedangkan stator adalah bagian yang diam. Di antara stator dan rotor terdapat celah udara yang mempunyai jarak relatif kecil

Prinsip kerja dari motor induksi tiga fasa adalah ketika tegangan tiga fasa diberikan pada belitan stator, maka belitan stator akan menghasilkan arus yang akan menghasilkan fluks yang berubah terhadap waktu sehingga timbul medan putar pada stator. Besarnya medan putar tersebut diperoleh dari persamaan berikut

$$n_s = \frac{120 \times f}{p} \text{ (rpm)} \quad (2.1)$$

dengan :

n_s = kecepatan medan putar stator (kecepatan sinkron)

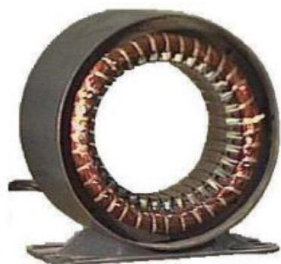
p = jumlah pole stator

f = frekuensi sumber tegangan

Medan putar yang terbangkit akan memotong batang konduktor pada rotor, sehingga di konduktor akan timbul tegangan induksi(ggl). Rotor merupakan rangkaian tertutup, sehingga timbul arus pada rotor. Arus tersebut menimbulkan gaya (F) pada rotor. Gaya yang ada pada rotor menimbulkan medan putar pada rotor, medan putar yang berinteraksi dengan medan putar stator menyebabkan putaran pada rotor. Untuk menjaga rotor tetap mendapatkan tegangan induksi maka harus ada perbedaan antara putaran rotor dengan medan putar stator yang disebut dengan slip.

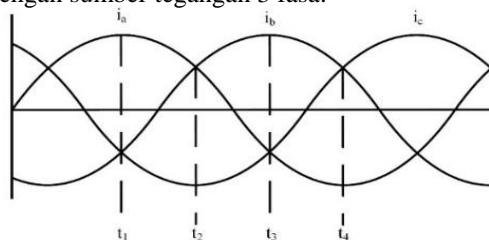
2.1.1 Stator

Stator adalah bagian dari motor induksi yang tidak berputar. Konstruksi stator terbentuk dari besi yang berlaminasi dan mempunyai alur atau slot sebagai tempat meletakkan kumparan. Kumparan stator merupakan kumpulan lilitan kawat tembaga yang dilapisi dengan isolasi. Tiap kumparan tersebar dalam alur yang disebut belitan fasa, dimana antar fasanya terpisah sebesar 120° listrik.



Gambar 2.1 Konstruksi Stator [2]

Perputaran rotor pada motor induksi tiga fasa ditimbulkan oleh adanya medan putar (fluks yang berputar) yang dihasilkan dalam kumparan stator. Medan putar ini terjadi apabila kumparan stator dihubungkan dengan sumber tegangan 3 fasa.



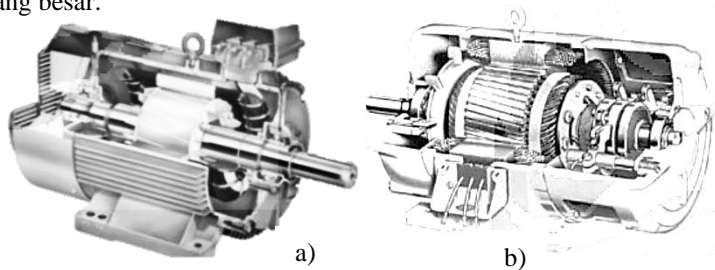
Gambar 2.2 Arus 3 Fasa Seimbang

2.1.2 Rotor

Berdasarkan jenis rotornya motor induksi tiga fasa dibagi menjadi dua jenis yaitu rotor sangkar tupai (*squirrel cage*) dan rotor lilit (*wound rotor*)

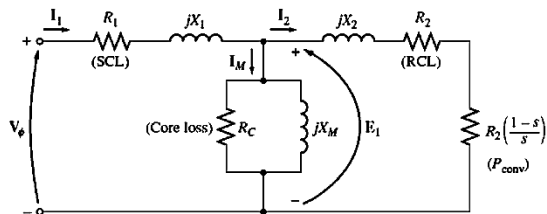
Rotor sangkar tupai terdiri dari lempengan besi tipis yang dilaminasi dan batang konduktor yang mengitarinya. Tumpukan laminasi besi yang disatukan ini membentuk inti rotor. Kemudian batang konduktor (aluminium) dimasukkan ke dalam slot inti rotor dan ujung-ujungnya dihubungkan singkat dengan menggunakan cincin hubung singkat (*end ring*).

Sedangkan rotor lilit terdiri dari belitan berisolasi serupa dengan belitan stator yang masing-masing belitan fasanya dikeluarkan ke cincin slip (*slip ring*) yang terpasang pada poros rotor. Belitan-belitan rotor ini kemudian dihubungkan singkatkan melalui sikat arang (*brush*) ke sebuah resistan luar. Resistan luar berfungsi membatasi arus asut motor yang besar.



Gambar 2.3 Konstruksi Rotor. a) Rotor Sangkar b) Rotor Lilit [2]

Rangkaian ekuivalen motor induksi tiga sama identik dengan rangkaian ekuivalen transformator, yang membedakan hanyalah kumparan sekunder (pada motor kumparan rotor) berputar dan menghasilkan daya mekanik.



Gambar 2.4 Rangkaian Ekuivalen Motor Induksi

Dimana :

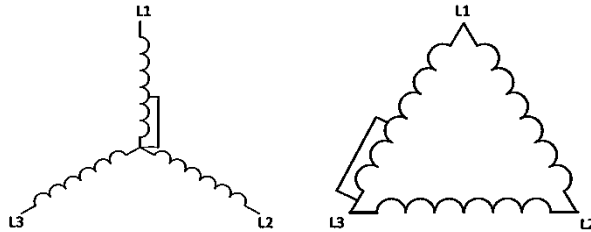
R_1	: Resistansi stator
jX_1	: Reaktansi stator
R_2	: Resistansi rotor
jX_2	: Reaktansi rotor
R_c	: Resistansi inti
jX_m	: Reaktansi magnetisasi

2.2 Hubung Singkat Lilitan Stator

Motor induksi tiga fasa merupakan motor yang paling sering digunakan pada industri. Oleh karena itu motor-motor tersebut sering mengalami berbagai keadaan dan variasi kondisi yang ekstrim seperti suhu, kelembaban, getaran, dan korosi. Gangguan pada stator adalah penyebab utama kerusakan pada motor induksi. Selama proses tersebut motor dapat mengalami kegagalan atau kerusakan stator. Proses kegagalan tersebut umumnya dimulai adanya partial discharge karena faktor lingkungan maupun cacat bawaan dari belitan stator.

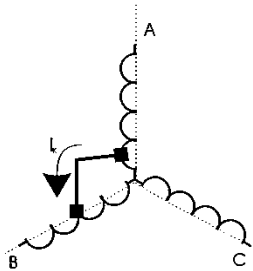
Terjadinya hubung singkat dimulai secara bertahap dan berkelanjutan. Awalnya belitan stator mengalami penurunan kekuatan isolasi yang mengakibatkan adanya hubung singkat temporer dengan durasi singkat dan arus hubung singkat relatif kecil karena kekuatan isolasinya masih tinggi. Pemanasan dan operasi terus menerus menyebabkan penurunan kekuatan isolasi sehingga hubung singkat menjadi semakin periodik dan kekuatan isolasi semakin parah sehingga menyebabkan hubung singkat menjadi bersifat permanen. Bila tidak segera diperbaiki motor akan mengalami hubung singkat secara berkelanjutan.

Salah satu hubung singkat yang umum terjadi pada belitan motor induksi adalah kegagalan antar belitan (*turn-turn fault*). Hal ini terjadi ketika isolasi antar dua belitan dalam kumparan yang sama rusak sehingga mengurangi kemampuan kumparan dalam menghasilkan medan magnet yang seimbang. Ketidakseimbangan medan magnet dapat menimbulkan getaran dan pemanasan lokal sehingga akan berpengaruh pada kumparan lainnya [5]. Pemanasan yang berlebihan tidak hanya merusak belitan stator tetapi juga akan merusak isolasinya. Konfigurasi kegagalan belitan pada motor induksi tiga fasa ditunjukkan pada gambar 2.5



Gambar 2.5 Konfigurasi Hubung Singkat (*turn-turn fault*)

Hubung singkat lain yang dapat terjadi pada belitan stator adalah hubung singkat antar fasa. Hal ini terjadi karena menurunnya kekuatan isolasi antara dua belitan fasa yang berdekatan dalam slot yang sama. Hubung singkat antar fasa ditunjukkan pada gambar 2.6



Gambar 2.6 Konfigurasi Hubung Singkat antar Fasa

Hubung singkat antara fasa mengakibatkan arus hubung singkat (I_k) mengalir dari fasa A ke fasa B. Arus tersebut sangat besar sehingga menyebabkan panas pada motor.

Hubung singkat ini akan mengakibatkan bertambahnya jumlah hubung singkat pada belitan, mengurangi umur dari isolasi belitan tersebut, terjadi penurunan kecepatan, serta peningkatan suhu. Jika kegagalan isolasi ini bertambah maka dapat menyebabkan motor gagal beroperasi.

2.3 Tegangan Sumber tak Seimbang (*Voltage Unbalanced*)

Tegangan masing-masing fasa pada sistem tiga fasa besarnya harus sama simetris dan dipisahkan oleh sudut 120° . Faktor-faktor yang dapat mempengaruhi tegangan tak seimbang antara lain beban fasa

tunggal pada tiap fasa, perbedaan ukuran kabel, serta kegagalan pada sirkuit. Tegangan tidak seimbang pada sistem dapat mengakibatkan *losses* pada sistem distribusi dan menurunkan efisiensi motor [2]. Selain itu arah perputaran dari motor induksi tiga fasa ketika mendapat sumber tegangan tak seimbang, maka akan timbul tegangan urutan negatif yang mengakibatkan arah perputaran motor induksi yang berlawanan dengan keadaan semula.

Adapun rumus toleransi ketidakseimbangan berdasarkan NEMA Standard MG-I.1993 adalah sebagai berikut

$$\% \text{ Vunbalance} = \frac{\text{deviation from average voltage}}{\text{average voltage}} \cdot 100\% \quad (2.2)$$

dengan

deviation from average voltage : selisih antara tegangan rata-rata dengan tegangan fasa terendah

average voltage : nilai tegangan rata-rata dari ketiga fasa

Tegangan sumber tak seimbang pada motor induksi terjadi saat tegangan yang tersedia di ketiga fasanya tidak sama. Hal ini dapat menimbulkan masalah serius pada peralatan listrik khususnya motor induksi tiga fasa. Pada motor induksi, tegangan tak seimbang akan menimbulkan kenaikan temperatur yang mengakibatkan berkurangnya umur isolasi belitan. Selain itu tegangan sumber tak seimbang pada terminal motor juga akan mengakibatkan arus yang mengalir menjadi tidak seimbang atau sebesar 6-10 kali dari nilai % tegangan tak seimbang pada operasi motor beban penuh.

2.4 Transformasi Park

Motor induksi tiga fasa pada terminal sumbernya tidak memiliki kawat netral, sehingga arus fasanya tidak mempunyai komponen urutan nol. Oleh karena itu perlu dilakukan Transformasi Park untuk mentransformasikan arus stator motor induksi tiga fasa menjadi bentuk 2 dimensi (I_d, I_q). Penggunaan representasi 2 dimensi ini sering digunakan untuk diagnosis kerusakan rotor, kegagalan isolasi stator, dan kondisi suplai tegangan tidak seimbang [1]. Berikut persamaan untuk mengubah arus tiga fasa menjadi bentuk arus 2 dimensi

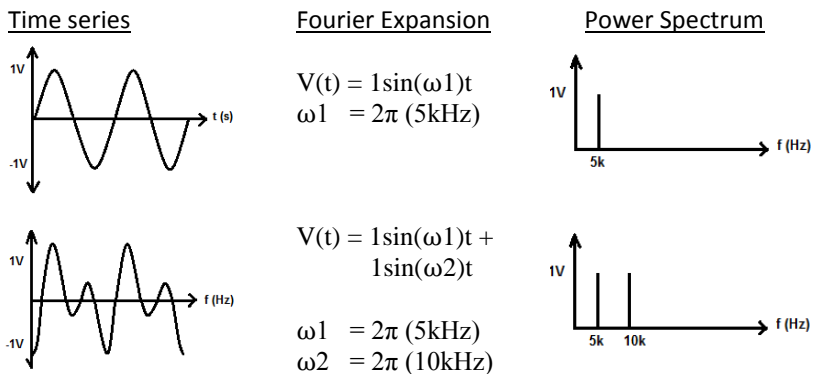
$$I_d = \sqrt{\frac{2}{3}} I_a - \frac{1}{\sqrt{6}} I_b - \frac{1}{\sqrt{6}} I_c$$

$$I_q = \frac{1}{\sqrt{2}} I_b - \frac{1}{\sqrt{2}} I_c \quad (2.3)$$

$$PVM = \sqrt{I_d^2 + I_q^2} \quad (2.4)$$

2.5 Fast Fourier Transform (FFT)

FFT adalah algoritma matematika yang digunakan untuk mentransformasi sinyal dari domain waktu (*time waveform*) ke domain frekuensi. FFT menghasilkan gambaran amplitudo sinyal (spektrum) terhadap frekuensi. Pada analisa deteksi gangguan, frekuensi merupakan parameter yang dianalisa untuk menemukan gangguan pada motor induksi [4]. Gambar 2.7 menunjukkan konversi sinyal dari domain waktu ke domain frekuensi



Gambar 2.7 Fast Fourier Transform

Secara matematis, proses analisis Fourier dapat ditulis sebagai rumus matematika sebagai berikut :

$$X(f) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) e^{-j2\pi f t} dt \quad (2.5)$$

Dalam bidang pemrosesan sinyal kontinyu, persamaan (2.5) digunakan untuk melakukan transformasi $x(t)$ yang merupakan fungsi dalam ranah waktu kontinyu menjadi fungsi $X(f)$ yang memiliki ranah frekuensi kontinyu. Dan dalam pemrosesan secara digital, didefinisikan sebagai $X(m)$ yang memiliki ranah frekuensi diskrit :

$$X(m) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n) e^{-j \frac{2\pi mn}{N}} \quad (2.6)$$

Dan diperoleh persamaan:

$$X(m) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n) \cos\left(\frac{2\pi mn}{N}\right) - j \sin\left(\frac{2\pi mn}{N}\right) \quad (2.7)$$

Dengan

n = indeks ranah-waktu dari sample input, $n=0,1,2,3,\dots,N-1$

N = jumlah sample dari sederetan sinyal input

$x(n)$ = nilai sample diskrit dengan ranah-waktu dari variable kontinyu

Persamaan transformasi tersebut dapat diterapkan untuk sinyal stasioner, yaitu sinyal yang tidak berubah terhadap waktu.

2.6 Transformasi Wavelet

Transformasi wavelet merupakan metode pengolahan sinyal digital yang mampu mendekomposisikan sinyal melalui filter yang dimilikinya. *Wavelet* merupakan cara klasifikasi sinyal dalam versi penskalaan dan pergeseran (*scalling* and *shifting*) masing-masing dari sinyal sumber atau dikenal dengan *mother wavelet*. Menurut Sydney (1998), *wavelet* merupakan gelombang mini (*small wave*) yang mempunyai kemampuan mengelompokkan energi citra dan terkonsentrasi pada sekelompok kecil koefisien, sedangkan kelompok koefisien lainnya hanya mengandung sedikit energi yang dapat dihilangkan tanpa mengurangi nilai informasinya [3]. *Wavelet* merupakan keluarga fungsi yang dihasilkan oleh *wavelet* basis $\psi(x)$

disebut *mother wavelet*. Dua operasi utama yang mendasari *wavelet* adalah:

- a. Penggeseran, misalnya $\psi(x-1)$, $\psi(x-2)$, $\psi(x-b)$, dan
- b. Penskalaan, misalnya $\psi(2x)$, $\psi(4x)$ dan $\psi(2x)$.

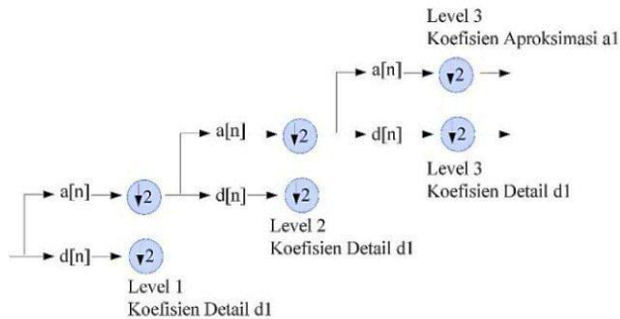
Kombinasi kedua operasi inilah menghasilkan keluarga *wavelet*. Secara umum, keluarga *wavelet* sering dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut :

$$\psi_{a,b}(x) = \frac{1}{\sqrt{|a|}} \psi\left(\frac{x-b}{a}\right) \quad (2.8)$$

dengan :

- $a, b \in R; a \neq 0$ $R =$ (bilangan nyata),
- a adalah parameter penskalaan (dilatasi),
- b adalah parameter penggeseran posisi (translasi) pada sumbu x ,
- $\sqrt{|a|}$ adalah normalisasi energi yang sama dengan energi induk

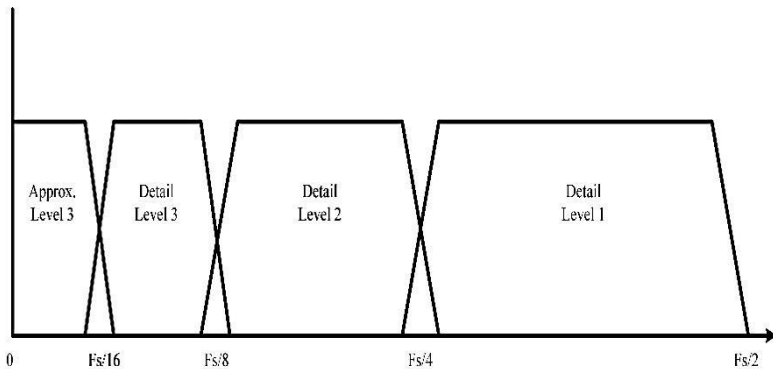
Transformasi *wavelet* hampir menyerupai transformasi fourier yang merupakan bentuk pengklasifikasian sinyal menjadi bentuk sinusoidal dengan berbagai macam frekuensi. *Discrete wavelet transform* (DWT) merupakan salah bentuk diskrit dari *wavelet* dan seringkali digunakan. DWT akan mengubah sinyal sumber menjadi dua klasifikasi sinyal yaitu frekuensi tinggi (*coefficient detail*) dengan resolusi waktu yang tinggi serta frekuensi rendah (*coefficient aproximation*) dengan resolusi frekuensi yang tinggi. Proses DWT diawali dengan proses filtering dengan melewati sinyal pada frekuensi *highpass filter* dan *lowpass filter*. Kemudian dilanjutkan dengan operasi *sub-sampling* dengan mengambil masing-masing setengah dari keluaran filter dari hasil (*coefficient aproximation*). Dua proses ini dinamakan proses dekomposisi. Proses Dekomposisi ini dapat dilakukan secara berlanjut hingga didapatkan tingkat dekomposisi yang diinginkan. Tingkat dekomposisi yang diinginkan disesuaikan dengan prediksi sinyal yang akan dianalisis.



Gambar 2.8 Wavelet Tree dengan Tiga Level Dekomposisi

Secara sederhana analisis DWT dapat didapat dengan menggunakan struktur *filter-bank*. Pada gambar 2.8 dijelaskan mengenai *approximation coefficient* sebagai sinyal sumber (*mother wavelet*) diklasifikasikan melalui *high-pass filter* ($d[n]$) dan *low-pass filter* ($a[n]$). Proses transfer ini kemudian dilanjutkan dengan proses *downsampling* pada *approximation coefficient* sehingga didapatkan *detail coefficient* untuk *high-pass filter* dan *approximation coefficient* untuk *low-pass filter* sampai level dekomposisi terakhir.

Pada penerapannya DWT memiliki beberapa kelebihan jika dibandingkan dengan transformasi Fourier yang memiliki kelemahan dalam menentukan amplitudo spektrum ketika frekuensi sampling yang diberikan tidak tepat. Selain itu DWT dinilai lebih sensitif dalam menunjukkan perubahan bentuk sinyal pada rentang frekuensi tertentu dan mampu mendeteksi tren dan kemiripan dari beberapa sinyal yang diproses. Gambar 2.9 menjelaskan pembagian band frekuensi ketika sebuah sinyal didekomposisikan.



Gambar 2.9 Klasifikasi dalam *Wavelet* untuk Tiga Level Dekomposisi

2.6.1 *Wavelet Daubechies*

Wavelet daubechies atau biasa disingkat db, dan untuk orde N dituliskan dengan dbN. Untuk orde $N = 1$ disebut Haar, $N = 2$ sampai $N = 45$. Panjang *wavelet daubechies* adalah $2N$. *Daubechies* memiliki orde yang menggambarkan jumlah koefisien filternya. Sifat polinomial yang dimiliki oleh *wavelet* akan berpengaruh dalam penentuan jumlah koefisien filter *wavelet*. Semakin besar jumlah filter yang dimiliki oleh suatu *wavelet* filter *daubechies*, maka semakin baik filter tersebut dalam melakukan pemilihan frekuensi.

2.7 Power Detail Density (PDD)

Dalam analisis fourier klasik, energi dari sebuah sinyal diperoleh dengan mengintegralkan *Power Spectral Density* (PSD), yang merupakan kuadrat dari nilai absolut transformasi fourier. Energi didefinisikan spektral band yang diperoleh dengan mengintegralkan PSD pada sepanjang band tersebut. Pendekatan serupa dapat diperoleh untuk transformasi *wavelet*. *Power Detail density* dapat diperoleh dengan cara mengkuadratkan dari setiap koefisien detail *high pass filter* Energi diperoleh dengan cara menjumlahkan kuadrat detail dari setiap level dekomposisi. *Discreter Wavelet transform* menunjukkan variasi amplitudo harmonisa dan lokasinya, sehingga tepat untuk sinyal non stasioner. *Power Detail Density* yang merupakan hasil dari transformasi *wavelet* adalah metode terbaik dalam mendeteksi kerusakan motor

dengan kondisi motor beroperasi dengan beban berubah-ubah. *Power Detail Density* dapat dipresentasikan dengan persamaan berikut :

$$\text{Energi} = \sum_{d_0}^{d_1} f(HPF)_n^2 \quad (2.9)$$

$$\text{PDD} = \frac{\text{Energi}}{f(HPF)_n}$$

Dimana

d_1 = range akhir dari jumlah data

d_0 = range awal dari jumlah data

$f(HPF)_n$ = Frekuensi *high pass filter* atau sinyal detail

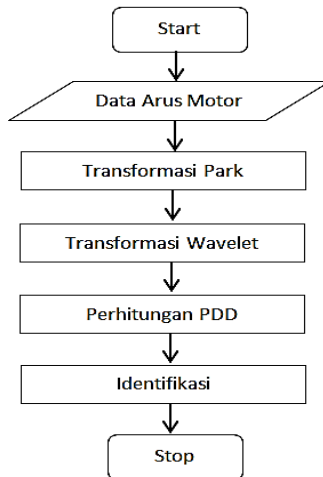
n = level sinyal detail

BAB III

PERANCANGAN SISTEM

3.1 Desain Sistem

Sistem pada Tugas Akhir ini berbasis pada pengukuran arus masukan stator motor induksi. Langkah awal pada percobaan ini adalah pengambilan data arus motor untuk kondisi normal, tegangan sumber tak seimbang dan hubung singkat. Kemudian data arus yang telah diperoleh akan berfungsi sebagai masukan dari transformasi wavelet Daubechies2 dengan 8 level dekomposisi. Langkah selanjutnya dilakukan analisis energi (Power Detail Density) pada setiap level dekomposisi untuk mengidentifikasi jenis kerusakan yang dikondisikan pada motor. Proses pengujian lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar berikut



Gambar 3.1 Diagram alir penelitian

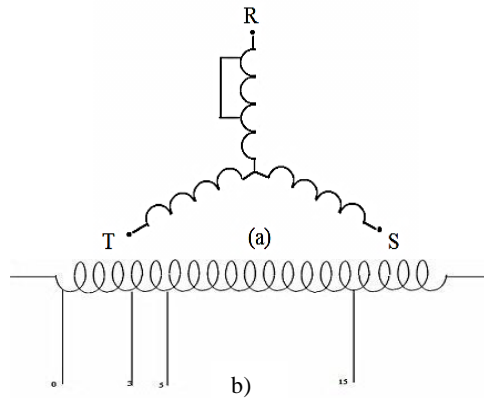
Pengukuran pada percobaan ini menggunakan NI PXIe-5112, probe arus serta *software* Labview yang terintegrasi dengan NIPXIe-5112 untuk mempermudah dalam pemilihan frekuensi sampling. Hasil

dari pengukuran akan diolah dengan transformasi *wavelet*. Jenis *wavelet* yang dipilih adalah jenis *wavelet Daubechies*. Pada Tugas Akhir ini digunakan motor induksi tiga fasa dengan kapasitas sebesar 1 Hp atau setara dengan 0,746 KW. Untuk lebih jelasnya spesifikasi motor dapat dilihat pada tabel berikut

Tabel 3.1 Data motor induksi tiga fasa

Merk	Alliance
<i>Type</i>	A-Y3A-80M2-4B5
P_{rated}	0,75 kW
<i>Poles</i>	4
V_{rated}	220/380 V
I_{rated}	3,6/2,1 A
N_{rated}	1390 rpm
F	50 Hz
$\cos \phi$	0,76
<i>Number of slot</i>	24
<i>Number of turn per phase</i>	126

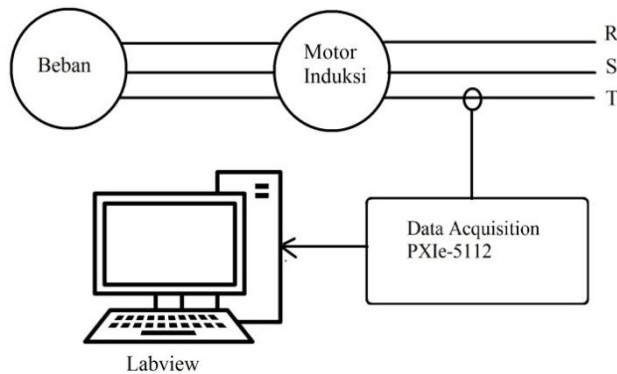
Stator motor induksi tiga fasa tersebut telah dimodifikasi pada belitan fasa R dan fasa T. Isolasi belitan fasa dirusak agar terjadi hubung singkat antar belitan dalam satu fasa dan hubung singkat antar fasa. Kemudian untuk mempermudah proses simulasi hubung singkat pada saat pengujian, belitan yang dirusak tersebut dihubungkan keluar melalui *tapping slot* dengan konfigurasi pada gambar berikut



Gambar 3.2 a) Rangkaian belitan Wye dan letak hubung singkat
b) Konfigurasi hubung singkat fasa R

3.2 Pengambilan Data

Proses pengambilan data pada pengujian ini meliputi tiga kondisi yaitu saat motor beroperasi normal, saat motor dengan belitan dihubungkan singkat dan motor diberi sumber tegangan tak seimbang. Skema pengambilan data dalam tugas akhir ini ditunjukkan pada gambar berikut

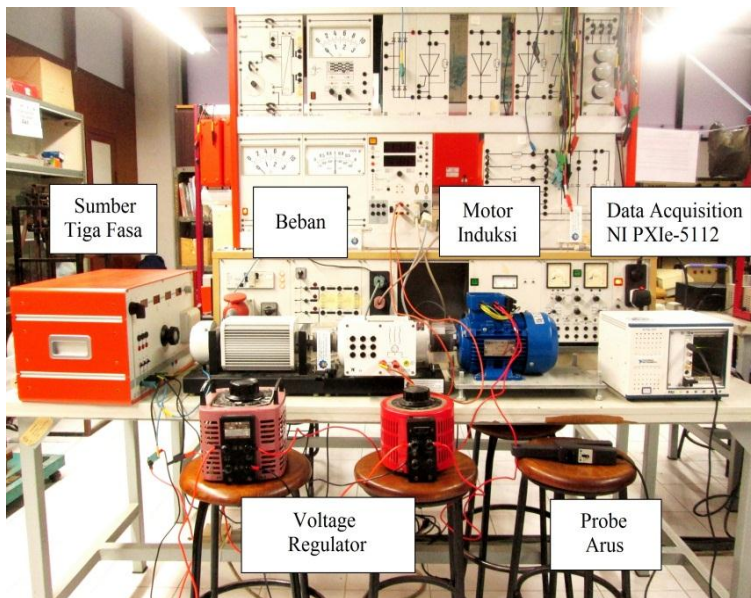


Gambar 3.3 Skema Pengambilan Data

Untuk mengambil data arus digunakan probe milik tektronik dengan spesifikasi pada tabel 3.2. Sedangkan proses pengujian dapat dilihat pada gambar 3.4

Tabel 3.2 Name Plate Probe Arus

Arus masukan maksimum	100 A (peak)
Bandwidth	100 kHz
Output	10 mV/A, 100 mV/A
Max. Conductor Diameter	11.8 mm
Tegangan maksimum	600 V
Temperatur Pengoperasian	0 °C sampai 50 °C



Gambar 3.4 Proses Pengambilan Data

Motor induksi yang digunakan adalah motor induksi dengan koneksi belitan *Wye* dan diberi sumber tegangan 380 volt. Pengujian dilakukan pada kondisi motor berbeban. Beban yang digunakan adalah beban mekanik yaitu menggunakan generator yang dikopel dengan motor induksi sehingga bisa diatur besar torsiya. Beban dinaikkan secara bertahap hingga daya input motor bernilai 746 Watt. Tabel 3.3 menunjukkan besarnya level pembebanan yang diberikan

Tabel 3.3 Variasi Pembebanan

Pembebanan			Arus (Ampere)	Cos ϕ
Level	P _{in} (Watt)	Torsi (Nm)		
0	0	0	1,06	0,1
20%	149,2	0,40	1,10	0,2
40%	298,4	1,35	1,15	0,4
60%	447,6	2,25	1,27	0,55
80%	596,8	3,00	1,40	0,65
100%	746	3,75	1,59	0,7

Autotrafo digunakan untuk menghasilkan kondisi sumber tegangan tak seimbang yaitu dengan cara menghubungkan kedua fasa dari sumber tiga fasa untuk memvariasikan nilai tegangan fasa yang masuk ke motor. Sedangkan kondisi hubung singkat diperoleh dengan cara mengubah kedudukan selektor pada *tapping slot* berdasarkan jumlah *turn* belitannya. Tabel 3.4 menunjukkan data yang diambil pada pengujian

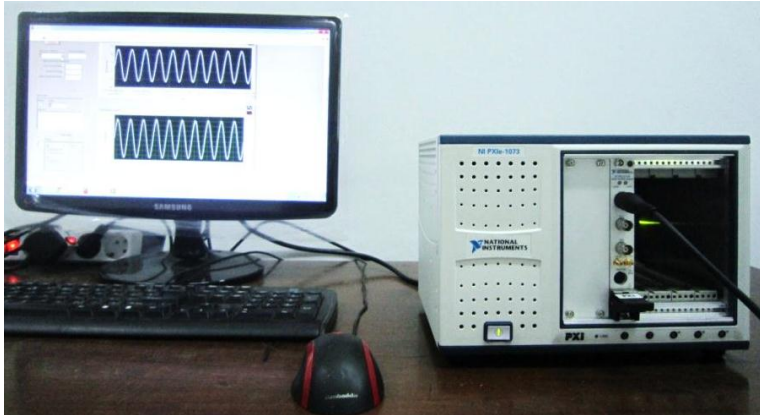
Tabel 3.4 Data Percobaan Motor Induksi

Fasa			Variasi Kasus	Jumlah Data
R	S	T	Normal	6
R _{unb}	S	T	225,230,235,240	24
R _{unb}	S	T _{unb}	225,230,235,240	24
R _{unb}	S	T	215,210,205,200	24
R _{unb}	S	T _{unb}	215,210,205,200	24
R _{short}	S	T	3-N,5-N,15-N	18
R _{short}	S	T _{short}	3-3,5-5,15-5	18
Total Data				138

Pada tahap ini diambil data bentuk gelombang arus motor induksi normal maupun yang mengalami gangguan. Data arus normal didapatkan ketika motor mendapat suplai tegangan seimbang dan belitan tidak dihubung singkat. Sedangkan untuk gangguan suplai tidak seimbang dibagi menjadi empat kondisi, yaitu saat motor dioperasikan dengan nilai tegangan sumber fasa R dinaikkan hingga 10% dari rating tegangan (20 Volt), kondisi 2 dengan nilai tegangan sumber fasa R dan fasa T dinaikkan, kondisi 3 dengan nilai tegangan sumber fasa R diturunkan dan kondisi 4 dengan nilai tegangan sumber fasa R dan fasa T diturunkan. Sedangkan untuk pengujian hubung singkat menggunakan tap *turn* lilitan 3, 5 dan 15 pada fasa R dan T.

Proses akuisisi data menggunakan NI PXIe-5112 produksi National Instrument. NI PXIe merupakan modul digitizer yang bekerja sebagai osiloskop dengan maksimal frekuensi sampling sebesar 1 MHz. Probe arus dari modul ini dihubungkan ke rangkaian fasa motor. Kemudian data arus motor yang terbaca oleh modul ini akan dikirim ke PC melalui kabel serial RS-232 untuk ditampilkan di *software* LabView. *Software* ini berfungsi untuk menampilkan arus motor secara *online* serta mengkonversi data gelombang yang telah diakuisisi untuk

selanjutnya dianalisa. Modul NI PXIe-5112 dan *software* LabView dapat dilihat pada Gambar 3.5



Gambar 3.5 Modul PXIe-5112 dan *Software* LabView

Perancangan sistem deteksi kerusakan stator motor induksi didasarkan pada pengolahan arus masukan stator. Kemudian data ditransformasikan menjadi sinyal PVM menggunakan transformasi Park. Hasil transformasi Park kemudian menjadi input pengolahan data dengan *software* MATLAB menggunakan *discrete wavelet transform*. Karena bentuk gelombang wavelet yang dihasilkan saat gangguan hubung singkat dan suplai tegangan tak seimbang hampir tidak memiliki perbedaan, maka dilakukan analisis lebih lanjut yaitu dengan mengkalkulasi nilai koefisien filter frekuensi tinggi (*detail*) untuk mendapatkan nilai PDD. Dari data tersebut dapat diperoleh perbedaan nilai PDD saat motor mengalami gangguan hubung singkat maupun suplai tegangan tak seimbang.

3.3 Transformasi Park dan Transformasi Fourier

Pengukuran yang dilakukan akan mendapatkan data berupa arus. Arus tersebut didapat dari pengukuran yang dilakukan oleh probe arus

yang terhubung dengan PXI. Sedangkan PXI sendiri terhubung dengan perangkat komputer yang telah terintegrasi dengan perangkat lunak Labview. Data arus tiga fasa selanjutnya ditransformasikan menjadi gelombang PVM menggunakan transformasi Park. Selanjutnya dilakukan analisis awal pada gelombang PVM yang dihasilkan menggunakan transformasi Fourier untuk mendeteksi dimana *range* frekuensi kerusakan terjadi sehingga lebih mempermudah dalam analisis pendeteksian selanjutnya menggunakan *discrete wavelet transform*.

3.4 *Discrete Wavelet Transform*

Dalam Tugas Akhir ini pengolahan data dilakukan dengan *discrete wavelet transform*. Frekuensi sampling yang digunakan dalam Tugas Akhir ini adalah 20000 sampel /detik sehingga didapatkan band frekuensinya 10000 Hz. Dengan nilai band frekuensi tersebut maka level dekomposisi transformasi *wavelet* yang digunakan sebanyak delapan level dekomposisi. Data yang diperoleh dalam bentuk *file* tdms sehingga perlu diubah kedalam bentuk excel sebelum dilakukannya transformasi *wavelet*. Karena probe arus yang digunakan pada pengujian ini hanya dua buah, maka pengambilan data arus dilakukan secara bergantian, dengan fasa S dijadikan referensi untuk kemudian disinkronisasi menjadi gelombang arus tiga fasa menggunakan *software* DIAdem. *Wavelet* yang digunakan dalam Tugas Akhir ini adalah jenis *wavelet Daubechies2*. Proses transformasi *wavelet* akan menghasilkan *aproximation coefficient* dan *detail coefficient*. *Aproximation coefficient* yang merupakan hasil dari low pass filter akan digunakan sebagai sumber untuk dekomposisi ke level berikutnya. *Detail coefficient* dari hasil *discrete wavelet transform* nantinya akan dikalkulasikan untuk melihat perbandingan ketika motor dioperasikan normal, hubung singkat maupun saat suplai tegangan tidak seimbang. Kalkulasi dilakukan dengan menjumlahkan kuadrat hasil dari *detail coefficient* masing-masing level dekomposisi. Nilai ini nantinya disebut *Power Detail Density* (PDD) atau biasa disebut energi pada setiap *detail coefficient*.

BAB 4

ANALISA DATA

4.1 Hasil Pengambilan Data Arus Stator

Data dari pengujian ini dibagi menjadi tiga kondisi yaitu saat motor beroperasi normal, motor mengalami hubung singkat serta saat motor diberi tegangan sumber tak seimbang. Ketiga kondisi tersebut dibebani dengan enam macam variasi pembebanan. Data arus diperoleh dari data acquisition PXIe-5112. Karena hanya ada dua probe arus pada modul ini, pengambilan data dilakukan secara bergantian untuk ketiga fasanya. Arus yang terukur pada saat pengambilan data ditunjukkan pada tabel berikut. Tabel 4.1 –Tabel 4.3 menunjukkan data arus yang diperoleh dari pengambilan data.

Tabel 4.1 Data Arus saat Motor Beroperasi Normal

No	Level Beban	Ir (A)	Is (A)	It (A)
1	0	1,12	1,06	1,06
2	20%	1,11	1,05	1,10
3	40%	1,14	1,09	1,15
4	60%	1,24	1,20	1,27
5	80%	1,38	1,35	1,40
6	100%	1,57	1,53	1,59

Tabel 4.1 menunjukkan besarnya arus stator yang dihasilkan pada kondisi normal. Arus motor normal didapatkan saat motor diberi sumber tegangan yang seimbang yaitu 220 volt di ketiga fasanya. Berdasarkan pengujian, nilai arus yang dihasilkan semakin besar seiring dengan kenaikan level beban yang diberikan.

Kasus *unbalance* pada pengujian ini motor dikondisikan mendapat suplai tegangan yang tidak seimbang dengan autotrafo. Tegangan suplai diatur naik dan turun sebesar 10% dari tegangan *rating* motor. Sehingga kondisi *unbalance* menjadi empat kondisi. Kondisi 1 adalah kondisi *unbalance* dengan menaikkan tegangan sumber pada fasa R, kondisi 2 dengan menaikkan tegangan sumber pada fasa R dan T, kondisi 3 dengan menurunkan tegangan pada fasa R dan kondisi 4 dengan menurunkan tegangan sumber fasa R dan T. Pengujian pada kondisi *unbalance* dilakukan pada enam variasi pembebanan.

Tabel 4.2 Data Arus *Unbalance* Beban 0

No	V _R	V _S	V _T	I _R	I _S	I _T
1	225	220	220	1,10	1,06	1,10
2	230	220	220	1,22	1,09	1,02
3	235	220	220	1,30	1,13	0,94
4	240	220	220	1,37	1,17	0,97
5	225	220	225	1,21	1,02	1,11
6	230	220	230	1,29	1,00	1,15
7	235	220	235	1,37	1,02	1,18
8	240	220	240	1,47	1,02	1,23
9	215	220	220	1,02	1,00	1,09
10	210	220	220	0,99	1,00	1,12
11	205	220	220	0,91	0,99	1,18
12	200	220	220	0,88	0,99	1,22
13	215	220	215	1,04	1,05	1,02
14	210	220	210	0,85	1,08	1,00
15	205	220	205	0,87	1,09	0,99
16	200	220	200	0,80	1,09	0,98

Tabel 4.3 Data Arus *Unbalance* Beban 3,75Nm

No	V _R	V _S	V _T	I _R	I _S	I _T
1	225	220	220	1,55	1,55	1,60
2	230	220	220	1,70	1,48	1,55
3	235	220	220	1,78	1,45	1,52
4	240	220	220	1,79	1,44	1,50
5	225	220	225	1,60	1,47	1,62
6	230	220	230	1,64	1,43	1,64
7	235	220	235	1,69	1,38	1,67
8	240	220	240	1,74	1,34	1,69
9	215	220	220	1,51	1,57	1,61
10	210	220	220	1,46	1,58	1,61
11	205	220	220	1,40	1,64	1,67
12	200	220	220	1,36	1,67	1,69
13	215	220	215	1,58	1,58	1,53
14	210	220	210	1,55	1,65	1,51
15	205	220	205	1,55	1,70	1,48
16	200	220	200	1,54	1,75	1,47

Tabel 4.2 dan tabel 4.3 menunjukkan besar arus kondisi *unbalance* yang dihasilkan pada beban nol dan beban 100%. Nilai arus yang dihasilkan sebanding dengan besar tegangan yang diberikan pada tiap fasanya. Arus akan bertambah besar jika nilai tegangan sumber motor dinaikkan.

Pengujian selanjutnya motor dikondisikan mengalami hubung singkat satu fasa ke netral dan hubung singkat antar fasa. Belitan stator dimodifikasi dengan cara *turn* lilitan pada fasa R dan T dikeluarkan ke *tapping slot* untuk mensimulasikan terjadinya hubung singkat pada belitan stator. Jumlah turn yang dihubungkan singkat pada pengujian ini adalah turn 3, 5, dan 15. Tabel 4.4 dan tabel 4.5 menunjukkan besar arus stator saat kondisi hubung singkat

Tabel 4.4 Data Arus Hubung Singkat Beban 0

No	Hubung singkat	I_R	I_S	I_T
1	3-N	1,12	1,02	1,09
2	5-N	1,13	1,04	1,11
3	15-N	1,24	0,98	1,18
4	3-3	1,17	1,04	1,08
5	5-5	1,10	1,03	1,15
6	5-15	1,08	1,04	1,23

Tabel 4.5 Data Arus Hubung Singkat Beban 100%

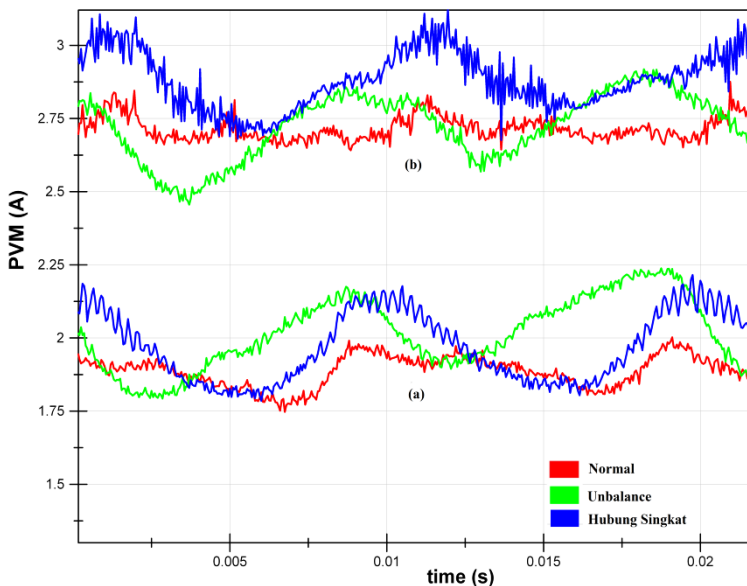
No	Hubung singkat	I_R	I_S	I_T
1	3-N	1,56	1,54	1,63
2	5-N	1,57	1,53	1,64
3	15-N	1,65	1,53	1,79
4	3-3	1,59	1,52	1,61
5	5-5	1,62	1,51	1,62
6	5-15	1,75	1,55	1,62

Dari tabel di atas dapat kita lihat bahwa semakin banyak belitan yang dihubungkan singkat semakin besar nilai arus hubung singkat yang mengalir. Hal ini dikarenakan saat belitan dihubungkan singkat, nilai impedansi belitan akan berkurang sehingga arus yang mengalir menjadi besar. Semakin banyak turn belitan yang dihubungkan singkat maka impedansinya akan semakin kecil sehingga arus yang mengalir semakin besar. Berdasarkan teori diketahui bahwa saat belitan salah satu fasa motor induksi mengalami gangguan hubung singkat (*inter-turn fault*)

maka fasa yang terkena gangguan tersebut memiliki nilai arus yang paling tinggi dibandingkan dengan arus fasa lainnya [6].

4.2 Transformasi Park

Gelombang arus stator dari pengujian kemudian ditransformasikan ke bentuk gelombang Park Vector Modulus (PVM) menggunakan persamaan (2.11) dan (2.12). Dari Gambar 4.1 dapat dilihat gelombang arus kasus hubung singkat mengandung harmonisa lebih banyak daripada kasus unbalance. Hal ini dapat dijadikan sebagai acuan dasar untuk analisa selanjutnya pada transformasi wavelet untuk mengidentifikasi jenis gangguan yang terjadi.



Gambar 4.1 Sinyal PVM Arus Stator a) Beban 0 b) Beban 3,75Nm

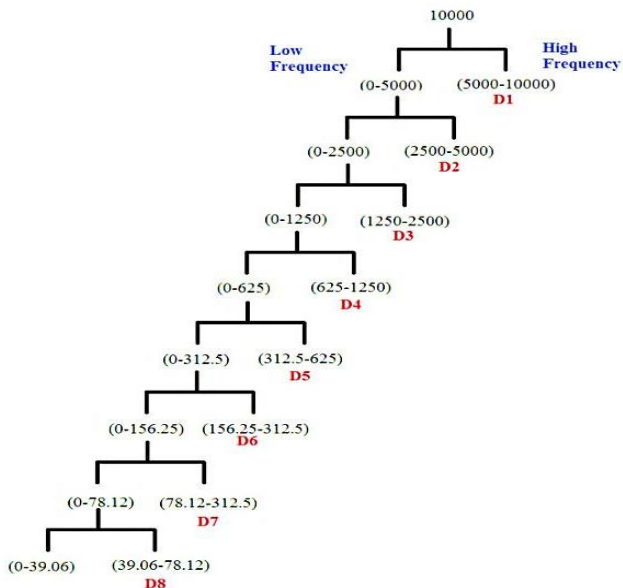
4.3 Transformasi Wavelet

Sinyal PVM yang didapat dari transformasi Park data arus stator selanjutnya dijadikan input untuk transformasi *wavelet*. Transformasi *wavelet* yang digunakan dalam Tugas Akhir ini adalah *discrete wavelet transform* (DWT) menggunakan jenis *wavelet* db2 dengan 8 level

dekomposisi. Frekuensi sampling sinyal pada pengujian ini adalah 20000 Hz dengan jumlah data 50000 data. *Range* frekuensi band sinyal detail level 1 diperoleh dari perhitungan frekuensi sampling dibagi dua atau $f_s/2$, sinyal detail level 2 diperoleh dari $f_s/4$, sinyal detail level 3 diperoleh dari $f_s/8$ dan seterusnya sampai sinyal detail level 8. Tabel 4.6 menunjukkan *range* frekuensi band pada setiap level dekomposisi dan gambar 4.2 untuk *wavelet tree* pada pengujian ini.

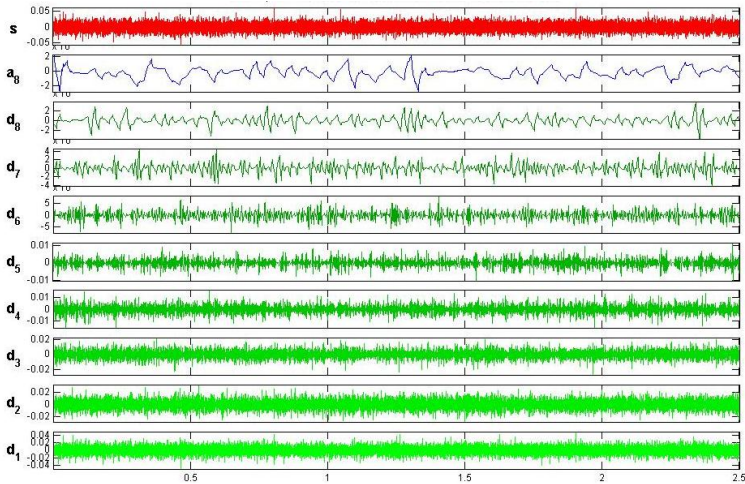
Tabel 4.6 Range Frekuensi Bands

Level Dekomposisi	Frekuensi Band (Hz)
Detail level 1	10000-5000
Detail level 2	5000-2500
Detail level 3	2500-1250
Detail level 4	1250-625
Detail level 5	625-312.5
Detail level 6	312.5-156.25
Detail level 7	156.25-78.12
Detail level 8	78.12-39.06

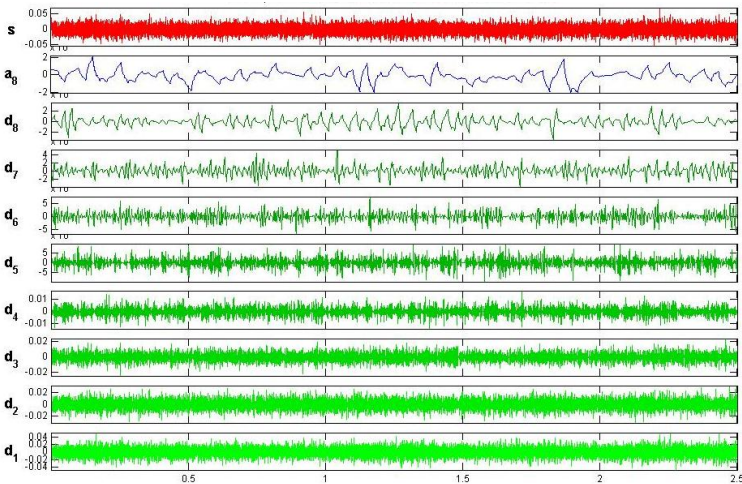


Gambar 4.2 Wavelet Tree dengan 8 Level Dekomposisi

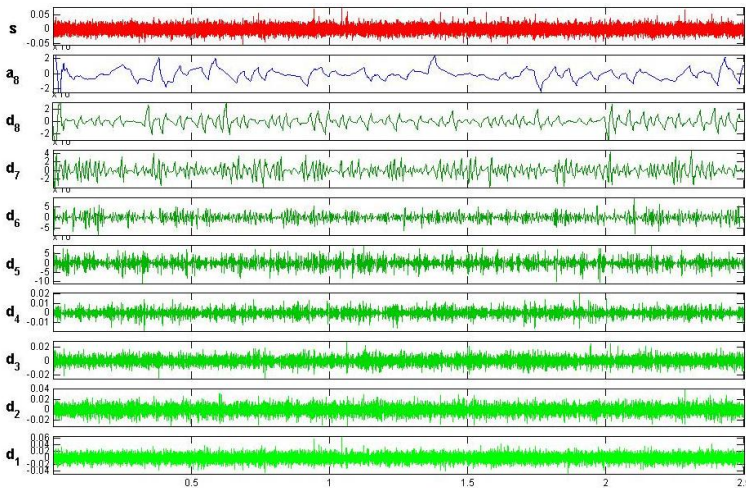
Gambar 4.3, 4.4 dan 4.5 merupakan hasil transformasi wavelet dengan 8 level dekomposisi pada kondisi normal, *unbalance* dan hubungan singkat pada beban nol.



Gambar 4.3 Hasil Transformasi Wavelet Kondisi Normal



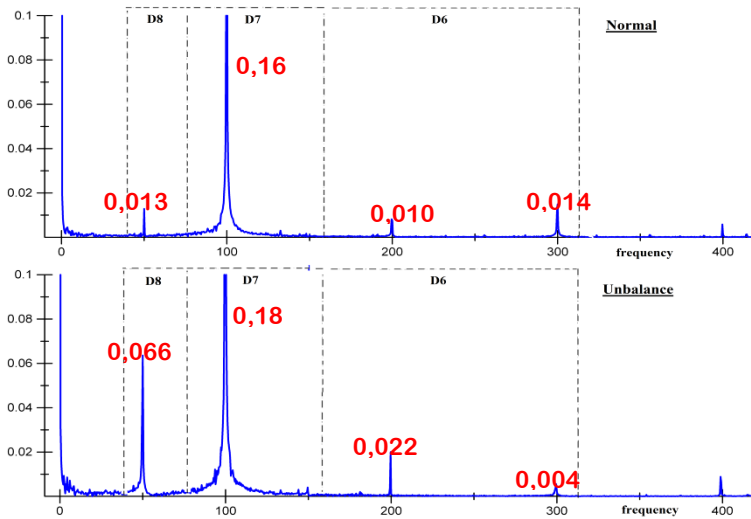
Gambar 4.4 Hasil Transformasi Wavelet Kondisi *Unbalance*



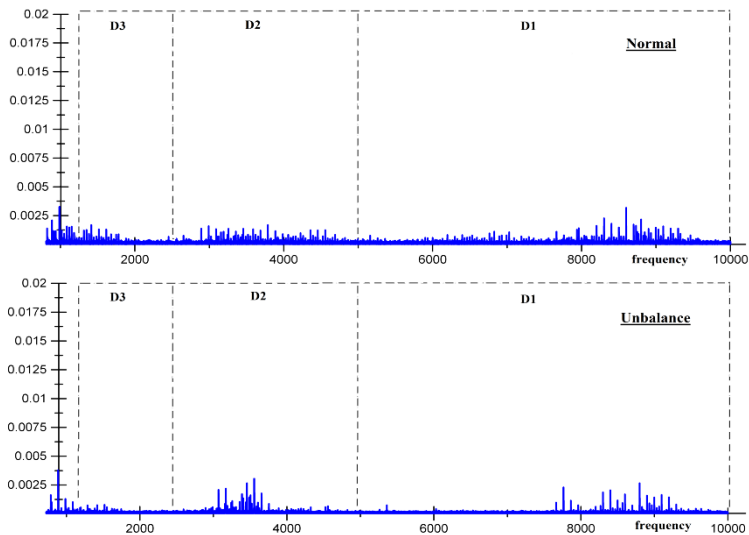
Gambar 4.5 Hasil Transformasi *Wavelet* Kondisi Hubung Singkat

Berdasarkan hasil transformasi *wavelet* di atas untuk kondisi normal, *unbalance* dan hubung singkat tidak terdapat perbedaan yang signifikan sehingga sulit diketahui dimana *range* frekuensi kerusakan terjadi. Oleh karena itu dilakukan tranformasi Fourier pada gelombang PVM sebelum analisa perhitungan PDD.

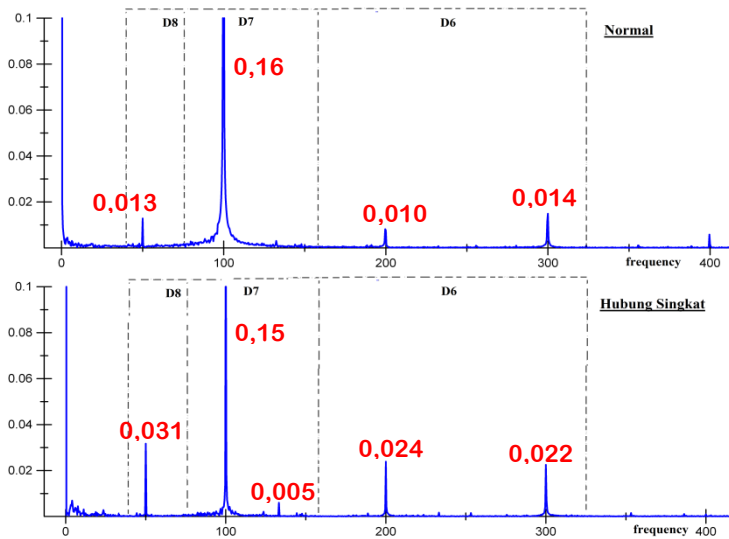
Gambar 4.6 sampai 4.9 merupakan hasil transformasi Fourier gelombang PVM. Berdasarkan besarnya spektrum pada frekuensi rendah, saat kondisi *unbalance* besarnya nilai spektrum lebih tinggi daripada kondisi normal. Sedangkan pada frekuensi tinggi tidak terdapat perbedaan nilai spektrum yang signifikan. Untuk kondisi hubung singkat, sama halnya dengan kondisi *unbalance*, nilai spektrum pada frekuensi rendah lebih tinggi daripada kondisi normal. Namun terdapat perbedaan pada spektrum frekuensi tingginya, pada kondisi hubung singkat terdapat perbedaan nilai spektrum yang signifikan daripada kondisi normal. Sehingga hal ini dapat dijadikan referensi pada perhitungan PDD transformasi *wavelet* bahwa yang membedakan gangguan hubung singkat dan *unbalance* adalah pada frekuensi tingginya.



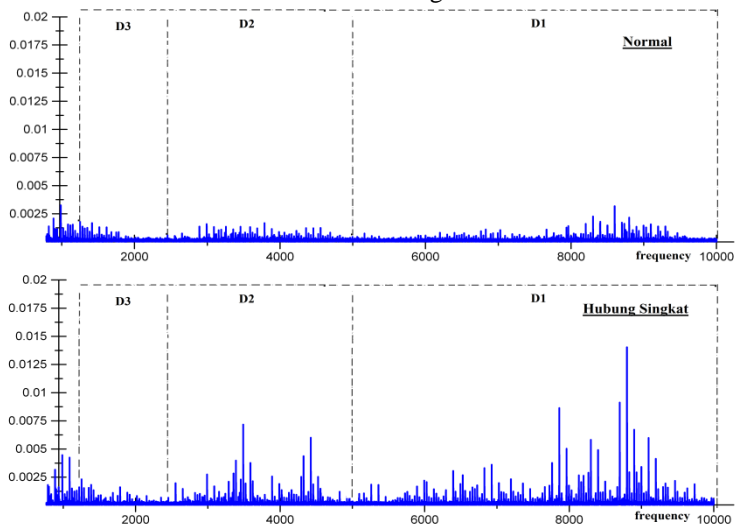
Gambar 4.6 Deteksi Frekuensi Rendah Kondisi Normal dan *Unbalance*



Gambar 4.7 Deteksi Frekuensi Tinggi Kondisi Normal dan *Unbalance*



Gambar 4.8 Deteksi Frekuensi Rendah Kondisi Normal dan Hubung Singkat



Gambar 4.9 Deteksi Frekuensi Tinggi Kondisi Normal dan Hubung Singkat

4.4 *Power Detail Density (PDD)*

Hasil transformasi *wavelet* arus stator pada kondisi normal, *unbalance* dan hubung singkat menghasilkan sinyal dekomposisi yang tidak memiliki perbedaan signifikan. Sehingga perlu dilakukan analisis lebih lanjut untuk mengidentifikasi jenis gangguan yang terjadi. Pada tugas akhir ini dilakukan kalkulasi energi yang ada di tiap level dekomposisi hasil transformasi *wavelet*. Energi merupakan penjumlahan kuadrat tiap-tiap koefisien detail pada suatu level dekomposisi. Sedangkan nilai PDD didapat dari hasil bagi antara energi dengan frekuensi sinyal detail dari masing-masing level dekomposisi.

Hasil perhitungan PDD kondisi normal, *unbalance* dan hubung singkat ditunjukkan pada Tabel 4.7 sampai 4.12

Beban 0		VS	VT	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8
VR	220	220	220	$6,37 \times 10^{-4}$	0,0012	$8,56 \times 10^{-4}$	0,0031	0,035	0,21	0,41	0,34
225	220	220	220	$6,17 \times 10^{-4}$	$9,79 \times 10^{-4}$	$8,78 \times 10^{-4}$	0,0051	0,101	2,07	19,81	10,50
230	220	220	220	$7,06 \times 10^{-4}$	0,0017	$9,68 \times 10^{-4}$	0,0038	0,055	0,91	8,63	5,92
235	220	220	220	$7,41 \times 10^{-4}$	0,0020	0,0010	0,0036	0,056	0,97	8,11	6,68
240	220	220	220	$6,94 \times 10^{-4}$	0,0016	0,0010	0,0034	0,038	0,51	4,29	4,93
Beban 20%											
	220	220	220	0,0110	0,0058	0,0063	0,0180	0,041	0,29	1,49	1,08
225	220	220	220	0,0104	0,0052	0,0068	0,0208	0,090	1,61	14,99	7,77
230	220	220	220	0,0017	0,0019	0,0013	0,0040	0,048	0,72	5,93	4,91
235	220	220	220	0,0013	0,0018	0,0012	0,0052	0,078	1,43	13,95	8,93
240	220	220	220	0,0012	0,0018	0,0011	0,0030	0,035	0,58	4,96	5,41
Beban 40%											
	220	220	220	0,0078	0,0069	0,0046	0,0104	0,058	0,93	8,18	4,00
225	220	220	220	0,0043	0,0025	0,0028	0,0067	0,035	0,29	1,90	1,33
230	220	220	220	0,0013	0,0018	0,0012	0,0028	0,021	0,25	1,75	3,13
235	220	220	220	$9,71 \times 10^{-4}$	0,0017	0,0012	0,0036	0,045	0,73	6,09	5,65
240	220	220	220	$9,51 \times 10^{-4}$	0,0017	0,0011	0,0062	0,108	2,19	21,76	13,31
Beban 60%											
	220	220	220	0,0037	0,0026	0,0037	0,0117	0,044	0,60	5,11	2,39
225	220	220	220	0,0067	0,0058	0,0055	0,0167	0,097	2,01	19,71	9,49
230	220	220	220	0,0018	0,0021	0,0013	0,0037	0,031	0,48	4,34	4,56
235	220	220	220	0,0011	0,0015	0,0012	0,0067	0,137	3,11	31,18	17,23
240	220	220	220	0,0011	0,0018	0,0012	0,0035	0,037	0,62	5,95	4,94
Beban 80%											
	220	220	220	0,0025	0,0022	0,0026	0,0081	0,080	1,53	14,79	7,34
225	220	220	220	0,0039	0,0037	0,0052	0,0156	0,031	0,20	1,17	1,12
230	220	220	220	0,0013	0,0013	0,0015	0,0013	0,082	1,67	16,53	10,81
235	220	220	220	0,0013	0,0019	0,0012	0,0044	0,056	1,04	10,17	7,43
240	220	220	220	0,0013	0,0019	0,0012	0,0038	0,041	0,68	6,49	5,48
Beban 100%											
	220	220	220	0,0019	0,0017	0,0022	0,0083	0,096	1,81	17,87	8,39
225	220	220	220	0,0084	0,0032	0,0031	0,0091	0,048	0,79	7,54	15,09
230	220	220	220	0,0012	0,0013	0,0012	0,0034	0,021	0,17	1,38	3,08
235	220	220	220	0,0012	0,0021	0,0015	0,0082	0,139	2,98	29,46	16,61
240	220	220	220	0,0011	0,0016	0,0014	0,0078	0,135	2,88	28,59	16,15

Tabel 4.7 PDD Unbalance Kondisi 1

Beban 0								
VR	V5	VT	D1	D2	D3	D4	D5	D6
220	220	220	$6,37 \times 10^{-4}$	0,0012	$8,56 \times 10^{-4}$	0,0031	0,035	0,21
225	220	225	$7,71 \times 10^{-4}$	0,0024	0,0013	0,0073	0,159	3,47
230	220	230	$8,94 \times 10^{-4}$	0,0031	0,0014	0,0040	0,052	0,77
235	220	235	$8,49 \times 10^{-4}$	0,0028	0,0013	0,0044	0,079	1,63
240	220	240	$7,98 \times 10^{-4}$	0,0025	0,0014	0,0066	0,127	2,69
Beban 20%								
220	220	220	0,0110	0,0058	0,0063	0,0180	0,041	0,29
225	220	225	0,0014	0,0023	0,0013	0,0035	0,027	0,29
230	220	230	0,0013	0,0022	0,0012	0,0030	0,033	0,52
235	220	235	0,0013	0,0025	0,0013	0,0049	0,067	1,23
240	220	240	0,0013	0,0024	0,0016	0,0133	0,310	6,83
Beban 40%								
220	220	220	0,0078	0,0069	0,0046	0,0104	0,058	0,93
225	220	225	0,0013	0,0024	0,0013	0,0031	0,023	0,27
230	220	230	0,0012	0,0019	0,0012	0,0064	0,127	2,83
235	220	235	0,0012	0,0023	0,0013	0,0038	0,053	1,01
240	220	240	0,0013	0,0029	0,0014	0,0045	0,059	1,16
Beban 60%								
220	220	220	0,0037	0,0026	0,0037	0,0117	0,044	0,60
225	220	225	0,0015	0,0031	0,0014	0,0030	0,014	0,14
230	220	230	0,0012	0,0030	0,0015	0,0041	0,045	0,87
235	220	235	0,0013	0,0020	0,0013	0,0050	0,078	1,69
240	220	240	0,0016	0,0022	0,0013	0,0041	0,049	0,76
Beban 80%								
220	220	220	0,0025	0,0022	0,0026	0,0081	0,080	1,53
225	220	225	0,0013	0,0028	0,0015	0,0082	0,166	3,67
230	220	230	0,0013	0,0033	0,0015	0,0031	0,020	0,25
235	220	235	0,0017	0,0032	0,0015	0,0037	0,033	0,59
240	220	240	0,0013	0,0018	0,0012	0,0037	0,043	0,78
Beban 100%								
220	220	220	0,0019	0,0017	0,0022	0,0083	0,096	1,81
225	220	225	0,0011	0,0023	0,0017	0,019	0,46	10,11
230	220	230	0,0014	0,0021	0,0014	0,004	0,028	0,39
235	220	235	0,0013	0,0020	0,0014	0,004	0,039	0,64
240	220	240	0,0012	0,0020	0,0013	0,004	0,044	0,68
Beban 20%								
220	220	220	0,0110	0,0058	0,0063	0,0180	0,041	0,29
225	220	225	0,0014	0,0023	0,0013	0,0035	0,027	0,29
230	220	230	0,0013	0,0022	0,0012	0,0030	0,033	0,52
235	220	235	0,0013	0,0025	0,0013	0,0049	0,067	1,23
240	220	240	0,0013	0,0024	0,0016	0,0133	0,310	6,83
Beban 40%								
220	220	220	0,0078	0,0069	0,0046	0,0104	0,058	0,93
225	220	225	0,0013	0,0024	0,0013	0,0031	0,023	0,27
230	220	230	0,0012	0,0019	0,0012	0,0064	0,127	2,83
235	220	235	0,0012	0,0023	0,0013	0,0038	0,053	1,01
240	220	240	0,0013	0,0029	0,0014	0,0045	0,059	1,16
Beban 60%								
220	220	220	0,0037	0,0026	0,0037	0,0117	0,044	0,60
225	220	225	0,0015	0,0031	0,0014	0,0030	0,014	0,14
230	220	230	0,0012	0,0030	0,0015	0,0041	0,045	0,87
235	220	235	0,0013	0,0020	0,0013	0,0050	0,078	1,69
240	220	240	0,0016	0,0022	0,0013	0,0041	0,049	0,76
Beban 80%								
220	220	220	0,0025	0,0022	0,0026	0,0081	0,080	1,53
225	220	225	0,0013	0,0028	0,0015	0,0082	0,166	3,67
230	220	230	0,0013	0,0033	0,0015	0,0031	0,020	0,25
235	220	235	0,0017	0,0032	0,0015	0,0037	0,033	0,59
240	220	240	0,0013	0,0018	0,0012	0,0037	0,043	0,78
Beban 100%								
220	220	220	0,0019	0,0017	0,0022	0,0083	0,096	1,81
225	220	225	0,0011	0,0023	0,0017	0,019	0,46	10,11
230	220	230	0,0014	0,0021	0,0014	0,004	0,028	0,39
235	220	235	0,0013	0,0020	0,0014	0,004	0,039	0,64
240	220	240	0,0012	0,0020	0,0013	0,004	0,044	0,68

Tabel 4.8 PDD Unbalance Kondisi 2

Beban 0									
VR	VS	VT	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D8
220	220	220	6,37x10 ⁻⁴	0,0012	8,56E-04	0,0031	0,03	0,21	0,34
215	220	220	7,53x10 ⁻⁴	0,0021	0,0010	0,0035	0,05	0,80	5,94
210	220	220	7,19x10 ⁻⁴	0,0018	0,0010	0,0030	0,03	0,37	3,94
205	220	220	7,50x10 ⁻⁴	0,0020	0,0010	0,0037	0,06	1,28	8,48
200	220	220	8,01x10 ⁻⁴	0,0026	0,0013	0,0078	0,18	3,94	17,23
Beban 20%									
220	220	220	0,0110	0,0058	0,0063	0,018	0,04	0,29	1,08
215	220	220	0,0011	0,0015	0,0014	0,013	0,30	6,11	28,76
210	220	220	0,0013	0,0021	0,0012	0,004	0,04	0,39	3,74
205	220	220	0,0016	0,0023	0,0013	0,004	0,05	0,77	5,53
200	220	220	0,0014	0,0022	0,0012	0,004	0,05	1,02	5,24
Beban 40%									
220	220	220	0,0078	0,0069	0,0046	0,010	0,06	0,93	4,00
215	220	220	0,0016	0,0016	0,0012	0,005	0,08	1,52	9,34
210	220	220	0,0010	0,0017	0,0012	0,006	0,12	2,46	13,49
205	220	220	0,0015	0,0016	0,0012	0,005	0,09	1,85	11,09
200	220	220	0,0014	0,0025	0,0013	0,006	0,10	2,05	9,21
Beban 60%									
220	220	220	0,0037	0,0026	0,0037	0,012	0,04	0,60	2,39
215	220	220	9,65x10 ⁻⁴	0,0015	0,0011	0,004	0,05	0,78	5,31
210	220	220	0,0015	0,0015	0,0012	0,004	0,05	0,88	6,51
205	220	220	0,0014	0,0015	0,0011	0,004	0,05	0,73	5,43
200	220	220	0,0012	0,0021	0,0014	0,007	0,15	3,28	15,46
Beban 80%									
220	220	220	0,0025	0,0022	0,0026	0,008	0,080	1,53	7,34
215	220	220	0,0012	0,0022	0,0014	0,004	0,053	0,85	6,36
210	220	220	0,0013	0,0018	0,0013	0,004	0,046	0,67	5,35
205	220	220	0,0013	0,0015	0,0013	0,006	0,109	2,28	12,66
200	220	220	0,0016	0,0030	0,0015	0,007	0,133	2,84	14,01
Beban 100%									
220	220	220	0,0019	0,0017	0,0022	0,008	0,09	1,81	8,39
215	220	220	0,0013	0,0022	0,0014	0,008	0,14	3,02	16,46
210	220	220	0,0014	0,0025	0,0016	0,009	0,15	3,21	18,35
205	220	220	0,0017	0,0024	0,0015	0,005	0,08	0,88	5,94
200	220	220	0,0014	0,0034	0,0017	0,008	0,15	3,33	15,11

Beban 0							
VR	VS	VT	D1	D2	D3	D4	D5
220	220	220	$6,37 \times 10^{-4}$	0,0012	$8,56 \times 10^{-4}$	0,003	0,035
215	220	215	$7,32 \times 10^{-4}$	0,0019	0,0011	0,007	0,149
210	220	210	$8,55 \times 10^{-4}$	0,0028	0,0015	0,014	0,344
205	220	205	$8,33 \times 10^{-4}$	0,0027	0,0011	0,004	0,070
200	220	200	$7,25 \times 10^{-4}$	0,0020	0,0010	0,003	0,037
Beban 20%							
220	220	220	0,0110	0,0058	0,0063	0,0180	0,041
215	220	215	0,0015	0,0022	0,0012	0,0038	0,043
210	220	210	0,0018	0,0028	0,0027	0,0326	0,693
205	220	205	0,0019	0,0030	0,0014	0,0040	0,043
200	220	200	0,0014	0,0026	0,0012	0,0029	0,027
Beban 40%							
220	220	220	0,0078	0,0069	0,0046	0,0104	0,058
215	220	215	0,0016	0,0023	0,0011	0,0033	0,031
210	220	210	0,0014	0,0019	0,0030	0,0535	1,137
205	220	205	0,0017	0,0035	0,0015	0,0037	0,029
200	220	200	0,0013	0,0020	0,0012	0,0045	0,055
Beban 60%							
220	220	220	0,0037	0,0026	0,0037	0,0117	0,064
215	220	215	0,0015	0,0024	0,0013	0,0048	0,066
210	220	210	0,0019	0,0038	0,0017	0,0046	0,063
205	220	205	0,0017	0,0018	0,0013	0,0035	0,028
200	220	200	0,0012	0,0030	0,0015	0,0050	0,092
Beban 80%							
220	220	220	0,0025	0,0022	0,0026	0,008	0,080
215	220	215	$8,72 \times 10^{-4}$	0,0011	0,0010	0,004	0,039
210	220	210	0,0016	0,0023	0,0015	0,011	0,263
205	220	205	0,0019	0,0040	0,0018	0,006	0,087
200	220	200	0,0011	0,0023	0,0013	0,004	0,052
Beban 100%							
220	220	220	0,0019	0,0017	0,0022	0,008	0,096
215	220	215	0,0018	0,0029	0,0015	0,005	0,053
210	220	210	0,0018	0,0038	0,0017	0,004	0,004
205	220	205	0,0019	0,0040	0,0018	0,005	0,059
200	220	200	0,0017	0,0037	0,0017	0,006	0,088

Tabel 4.10 PDD Unbalance Kondisi 4

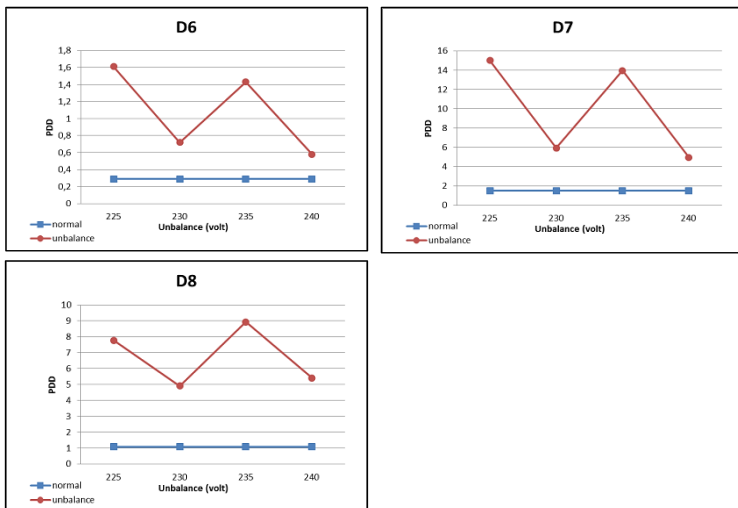
Beban 0		D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8
Kondisi									
NORMAL		6.37x10 ⁻⁴	0.0012	8.56x10 ⁻⁴	0.003	0.035	0.21	0.41	0.34
3-N		6.39x10 ⁻⁴	0.0011	8.19x10 ⁻⁴	0.003	0.035	0.14	0.58	0.42
5-N		6.64x10 ⁻⁴	0.0012	8.98x10 ⁻⁴	0.003	0.045	0.21	0.69	0.43
15-N		9.19x10 ⁻⁴	0.0034	0.0014	0.003	0.037	0.65	5.59	2.69
Beban 20%									
NORMAL		0.011	0.0058	0.0063	0.018	0.041	0.29	1.49	1.08
3-N		0.015	0.0051	0.0061	0.012	0.029	0.19	0.77	0.70
5-N		0.009	0.0060	0.0079	0.018	0.029	0.58	0.59	
15-N		0.018	0.0067	0.0085	0.022	0.045	0.52	4.26	2.32
Beban 40%									
NORMAL		0.0078	0.0069	0.0046	0.010	0.058	0.93	8.18	4.00
3-N		0.0093	0.0044	0.0043	0.093	0.042	0.53	4.61	2.63
5-N		0.0049	0.0030	0.0053	0.014	0.030	0.21	1.22	0.87
15-N		0.0116	0.0051	0.0077	0.028	0.132	2.04	18.41	10.61
Beban 60%									
NORMAL		0.0037	0.0026	0.0037	0.012	0.044	0.60	5.11	2.39
3-N		0.0082	0.0039	0.0051	0.017	0.096	1.92	18.99	10.06
5-N		0.0044	0.0029	0.0043	0.013	0.032	0.27	1.92	1.29
15-N		0.0072	0.0047	0.0071	0.028	0.177	3.68	36.29	17.45
Beban 80%									
NORMAL		0.0025	0.0022	0.0026	0.008	0.080	1.53	14.79	7.34
3-N		0.0061	0.0044	0.0055	0.013	0.065	1.09	10.59	5.84
5-N		0.0125	0.0043	0.0042	0.010	0.039	0.42	3.61	2.07
15-N		0.0074	0.0058	0.0067	0.016	0.070	1.13	10.70	5.20
Beban 100%									
NORMAL		0.0019	0.0017	0.0022	0.008	0.096	1.81	17.87	8.39
3-N		0.0096	0.0034	0.0033	0.008	0.043	0.37	2.79	1.80
5-N		0.0078	0.0034	0.0037	0.010	0.042	0.26	1.64	1.25
15-N		0.0089	0.0038	0.0029	0.008	0.055	0.61	5.06	2.77

Tabel 4.11 PDD Hubungan Singkat Fasa ke Netral

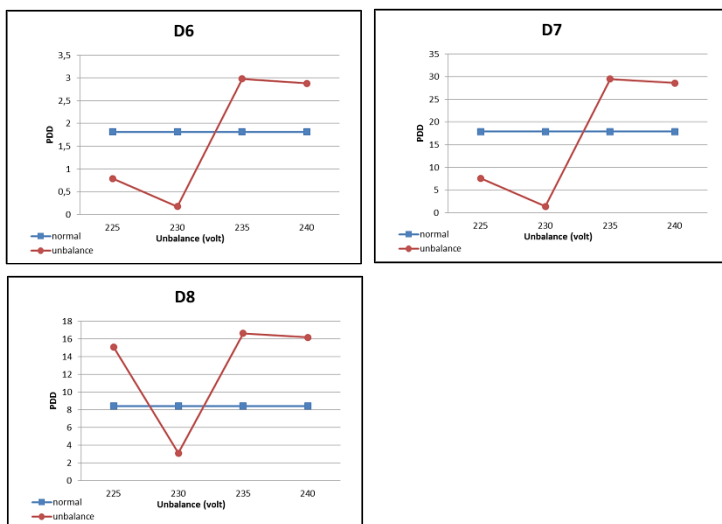
Beban 0								
Kondisi	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8
NORMAL	$6,37 \times 10^{-4}$	0,0012	$8,56 \times 10^{-4}$	0,0030	0,035	0,21	0,41	0,34
3-3	$8,41 \times 10^{-4}$	0,0028	0,0012	0,0034	0,042	0,68	5,82	2,76
5-5	$6,53 \times 10^{-4}$	0,0011	$9,78 \times 10^{-4}$	0,0065	0,125	1,83	16,47	9,23
5-15	$6,79 \times 10^{-4}$	0,0011	$9,53 \times 10^{-4}$	0,0037	0,052	0,22	0,97	0,65
Beban 20%								
NORMAL	0,011	0,0058	0,0063	0,018	0,041	0,29	1,49	1,08
3-3	0,016	0,0060	0,0081	0,020	0,041	0,30	1,97	1,28
5-5	0,020	0,0050	0,0041	0,008	0,027	0,15	0,26	0,44
5-15	0,013	0,0061	0,0069	0,015	0,081	1,26	11,62	5,67
Beban 40%								
NORMAL	0,007	0,0069	0,0046	0,0104	0,058	0,93	8,18	4,00
3-3	0,007	0,0033	0,0047	0,0143	0,031	0,17	0,63	0,52
5-5	0,009	0,0050	0,0083	0,0248	0,031	0,22	1,13	0,81
5-15	0,006	0,0051	0,0079	0,0212	0,029	0,22	1,39	0,91
Beban 60%								
NORMAL	0,0037	0,0026	0,0037	0,0117	0,044	0,60	5,11	2,39
3-3	0,0071	0,0048	0,0073	0,0249	0,029	0,25	1,76	1,19
5-5	0,0065	0,0059	0,0086	0,0261	0,041	0,55	4,89	2,64
5-15	0,0045	0,0038	0,0048	0,0097	0,029	0,26	2,05	1,38
Beban 80%								
NORMAL	0,0025	0,0022	0,0026	0,008	0,080	1,53	14,79	7,34
3-3	0,0054	0,0047	0,0070	0,027	0,152	3,23	31,53	15,85
5-5	0,0069	0,0042	0,0077	0,027	0,032	0,27	2,04	1,28
5-15	0,0061	0,0048	0,0055	0,015	0,066	1,11	10,72	5,53
Beban 100%								
NORMAL	0,0019	0,0017	0,0022	0,008	0,096	1,81	17,87	8,39
3-3	0,0087	0,0041	0,0028	0,005	0,037	0,24	1,49	1,14
5-5	0,0047	0,0047	0,0070	0,022	0,034	0,14	0,37	0,58
5-15	0,0071	0,0046	0,0069	0,022	0,042	0,27	1,91	1,35

Tabel 4.12 PDD Hubung Singkat Fasa ke Fasa

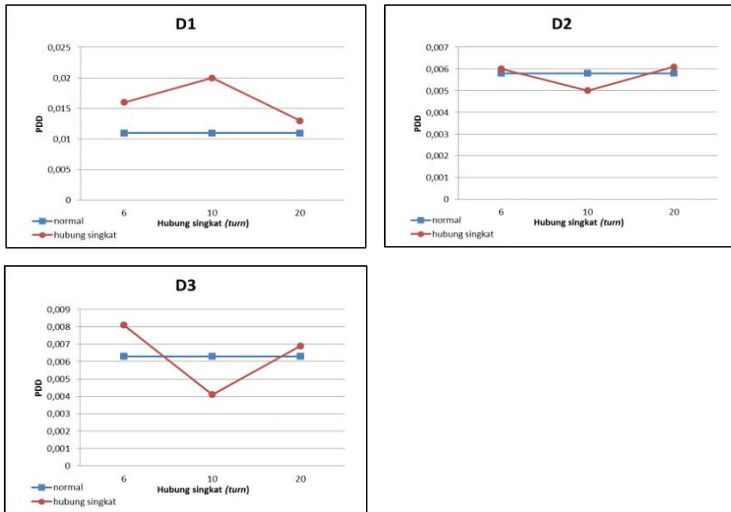
Berdasarkan tabel 4.7 hingga tabel 4.12, terlihat saat motor diberi sumber tegangan tak seimbang, nilai PDD level dekomposisi D6, D7 dan D8 memiliki nilai yang lebih besar daripada saat motor beroperasi normal, sedangkan untuk nilai PDD pada level D1, D2 dan D3 bernilai lebih kecil. Sebaliknya saat motor mengalami hubung singkat, nilai PDD pada level D1, D2 dan D3 memiliki nilai yang lebih besar daripada saat motor beroperasi normal. Untuk melihat lebih jelas perbandingan nilai PDD setiap level dekomposisi pada kondisi normal, unbalance dan hubung singkat ditunjukkan dalam grafik pada gambar 4.10 sampai 4.13.



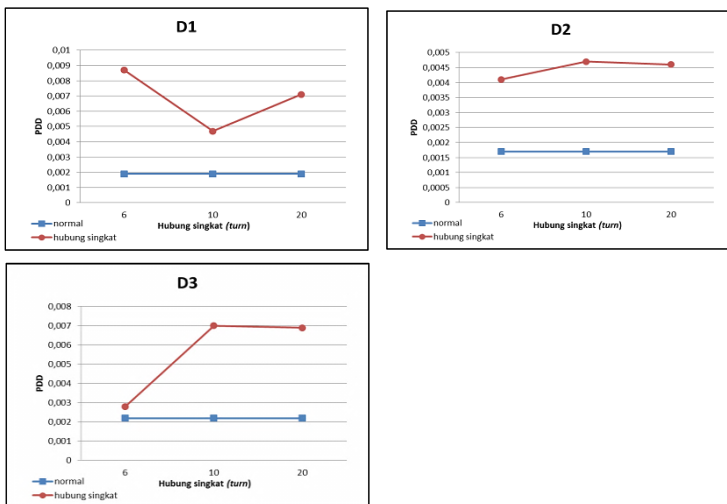
Gambar 4.10 Perbandingan Nilai PDD Normal dan *Unbalance*
Kondisi 1 Beban 20%



Gambar 4.11 Perbandingan Nilai PDD Normal dan *Unbalance*
Kondisi 1 Beban 100%



Gambar 4.12 Perbandingan Nilai PDD Normal dan Hubung Singkat Fasa ke Fasa Beban 20%



Gambar 4.13 Perbandingan Nilai PDD Normal dan Hubung Singkat Fasa ke Fasa Beban 100%

Berdasarkan grafik pada gambar 4.10 dan 4.11 menunjukkan bahwa deteksi dini kondisi *unbalance* dapat dilihat dari nilai PDD level dekomposisi D6, D7 dan D8 memiliki nilai yang tinggi dibandingkan kondisi normal. Namun deteksi hanya dapat dilakukan dengan akurat pada level pembebanan 0 dan 20%. Tabel 4.13 menunjukkan persentase jumlah data *unbalance* yang berhasil dideteksi pada tiap level pembebanan

Tabel 4.13 Data *Unbalance* yang Berhasil Dideteksi

Level Beban	Data terdeteksi (%)		
	D6	D7	D8
0	100	100	100
20%	100	100	93,7
40%	68,7	68,7	75
60%	93,7	81,2	87,5
80%	31,2	31,2	37,5
100%	31,2	31,2	62,5

Sedangkan deteksi hubung singkat berdasarkan grafik pada gambar 4.12 dan 4.13, nilai PDD level dekomposisi D1, D2, dan D3 memiliki nilai PDD yang lebih tinggi dibandingkan kondisi normal. Namun berbeda dengan deteksi *unbalance*, pada kondisi hubung singkat, deteksi dapat dilakukan dengan akurat pada level beban 60%, 80% dan 100%. Jumlah data yang berhasil dideteksi pada tiap level pembebanan ditunjukkan pada tabel 4.14

Tabel 4.14 Data Hubung Singkat yang Berhasil Dideteksi

Level Beban (%)	Data terdeteksi (%)		
	D1	D2	D3
0	100	33,3	83,3
0,40	83,3	66,7	66,7
1,35	50	0	83,3
2,25	100	100	100
3,00	100	100	100
3,75	100	100	100

Dari tabel di atas dapat dihitung persentase keberhasilan metode ini berdasarkan level beban yang dapat terdeteksi untuk masing-masing gangguan yang ditunjukkan pada tabel 4.15

Tabel 4.15 Persentase Keberhasilan Metode Berdasarkan Level Beban

Level Beban (%)	Persentase Keberhasilan (%)	
	Unbalance	Hubung Singkat
0-40	89,6	62,9
60-100	54,1	100

Sedangkan berdasarkan keseluruhan jumlah data yang berhasil dideteksi, persentase keberhasilannya ditunjukkan pada tabel 4.16

Tabel 4.16 Persentase Keberhasilan Metode

Gangguan	Jumlah Data	Data yang Terdeteksi	Persentase Keberhasilan(%)
Unbalance	288	207	71,87
Hubung Singkat	108	88	81,48

Dengan hasil tersebut maka metode deteksi gangguan pada stator menggunakan perhitungan PDD transformasi *wavelet* mampu mendeteksi adanya gangguan yang terjadi pada motor induksi.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Pada Tugas Akhir ini mampu menunjukkan bahwa *Discrete Wavelet Transform* (DWT) dengan *Power Detail Density* (PDD) dapat mendeteksi adanya gangguan pada stator motor induksi, dengan cara membandingkan nilai PDD pada kondisi normal, *unbalance* dan hubung singkat. Gangguan hubung singkat pada belitan stator dapat dideteksi dengan akurat dari tingginya nilai PDD pada level dekomposisi D1, D2 dan D3 pada level beban lebih dari 60%. Ketidakseimbangan tegangan suplai motor induksi dengan mudah dapat dideteksi dari tingginya nilai PDD pada level dekomposisi D6, D7 dan D8 pada level beban kurang dari 40%.

5.2 Saran

Deteksi kerusakan gangguan stator pada Tugas Akhir ini hanya memonitoring motor induksi yang mengalami kerusakan pada stator, di masa depan diharapkan dapat dikembangkan efek kerusakan motor yang lain seperti kerusakan *bearing* maupun kerusakan rotor. Dan untuk penelitian berikutnya diharapkan menggunakan motor induksi tiga fasa dengan kapasitas daya yang lebih besar.

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR PUSTAKA

- [1] P. Purkait, Santanu “*Separating Induction Motor Current Signature Winding Faults from that due to Supply Voltage Unbalances*,”*IEEE Trans. Ind. Appl.*, 978-1-4673-1669-9/12, 2012.
- [2] Kusuma, Umar Wirahadi., “Analisa Ketidakseimbangan Fasa terhadap Kemampuan Kerja (*Derating*) Motor Induksi,” Universitas Indonesia, Jakarta, 2012.
- [3] Martin Blodt, Pierre granjon, Bertrand Raison, Gilles Rostaing, “*Models for bearing Damage Detetction in Induction motors using Stator Current Monitoring*”, *IEEE Trans. On Instrumentation and Measurement*, vol. 55, no. 04, April 2008
- [4] Yudiastawan, I Gusti Putu “ Deteksi Kerusakan Bearing dan Eccentricity pada Motor Induksi Tiga Fasa dengan *Current Signature Analysis*,” Universitas Indonesia, Jakarta, 2009.
- [5] “*Identifying Motor Defects Through Fault Zone Analysis*”, <<http://maintenanceworld.com/Articles/pdma/Identifying-Motor-Defects.htm>>, 8 Des. 2013.
- [6] S. M. A. Cruz and A. J. Marques Cardoso, “*Stator Winding Fault Diagnosis in Three-Phase Synchronous and Asynchronous Motors by the Extended Park’s Vector Approach*”, *IEEE Trans. Ind Appl.*, vol. 37, pp.1227-1233, 2001.
- [7] Jangho, Yun, Kwanghwan Lee, Kwang Woon Lee, Sang Bin Lee, Ji Yoon Yoo, “*Detection and Classification of Stator Turn Faults and High- Resistance Electrical Connections for Inductions Machines*” *IEEE Trans. Ind Appl.*, Vol 45, 2009.
- [8] NEMA, MG-1, 2009

Halaman ini sengaja Dikosongkan

LAMPIRAN

```
clc
clear all

%Normal
data0 = '85.xlsx';
a10 = xlsread (data0,1);
samp10a = a10(:,1); % menunjukkan kolom 1
input_sinyal0 = a10(:,2); % menunjukkan
    kolom 2
y0 = input_sinyal0;

%normal
[LFnorm1,HFnorm1] = dwt (y0,'dB2');
[LFnorm2,HFnorm2] = dwt (LFnorm1,'dB2');
[LFnorm3,HFnorm3] = dwt (LFnorm2,'dB2');
[LFnorm4,HFnorm4] = dwt (LFnorm3,'dB2');
[LFnorm5,HFnorm5] = dwt (LFnorm4,'dB2');
[LFnorm6,HFnorm6] = dwt (LFnorm5,'dB2');
[LFnorm7,HFnorm7] = dwt (LFnorm6,'dB2');
[LFnorm8,HFnorm8] = dwt (LFnorm7,'dB2');

DenNorm1 = (HFnorm1)'*(HFnorm1)
DenNorm2 = (HFnorm2)'*(HFnorm2)
DenNorm3 = (HFnorm3)'*(HFnorm3)
DenNorm4 = (HFnorm4)'*(HFnorm4)
DenNorm5 = (HFnorm5)'*(HFnorm5)
DenNorm6 = (HFnorm6)'*(HFnorm6)
DenNorm7 = (HFnorm7)'*(HFnorm7)
DenNorm8 = (HFnorm8)'*(HFnorm8)

psdNorm1=( (DenNorm1)/5000);
psdNorm2=( (DenNorm2)/2500);
psdNorm3=( (DenNorm3)/1250);
psdNorm4=( (DenNorm4)/625);
psdNorm5=( (DenNorm5)/312.5);
psdNorm6=( (DenNorm6)/156.25);
psdNorm7=( (DenNorm7)/78.12);
psdNorm8=( (DenNorm8)/39.06);
```

Halaman ini sengaja dikosongkan

RIWAYAT HIDUP



Penulis memiliki nama lengkap Fitri Ariyani. Lahir di Wonosobo pada tanggal 20 April 1991. Penulis mengawali pendidikannya di SD Negeri 1 Kaliwiro pada tahun 1997-2003, kemudian melanjutkan pendidikan ke SMP Negeri 1 Kaliwiro hingga tahun 2006. Setelah lulus dari SMA Negeri 1 Wonosobo pada tahun 2009, penulis melanjutkan pendidikannya di Universitas Gadjah Mada, Program Studi Diploma Teknik Elektro, Bidang Keahlian Teknik Sistem Tenaga Listrik. Setelah lulus Program Studi Diploma Teknik Elektro UGM pada tahun 2012, penulis melanjutkan pendidikan untuk meraih gelar Strata-1 di Jurusan Teknik Elektro Institut Teknologi Sepuluh Nopember melalui program Lintas Jalur, Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga.
e-mail : fitriariyani91@gmail.com

Halaman ini sengaja dikosongkan